平成１６年度～平成１７年度成果報告書
04001511-0-1.pdf

次世代ロボット実用化プロジェクト（プロトタイプ開発支援事業）

「強化学習型（動作制御自己開発型）６脚歩行ロボットの研究開発」

成　果　報　告　書

平成１８年３月

岡谷商工会議所
インダストリーネットワーク株式会社

目次

まえがき・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2
1．研究開発の成果と達成状況
（1）研究開発の成果
① 要約 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 6
英文 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 8
② 本文

1. 強化学習アルゴリズムの開発 ・・・・・・・・・・・・・・・・・ 9
2. メカ、筐体の設計・製作 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・11
3. 岡谷商工会議所によるプロジェクトの成果普及の為の
調査委員会の開催・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・26
4. 愛・地球博でのデモ実証・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・44
5. 実証試験後のデータに基づく改良研究・・・・・・・・・・・・45
6. プロジェクト全体のマネジメントに対する
問題提起と将来構想について・・・・・・・・・・・・・・・51

（2）目的に照らした達成状況・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・58
2．研究発表・講演、文献、特許等の状況・・・・・・・・・・・・・・・・67
（1）研究発表・講演
（2）文献
（3）特許等
（4）その他の公表（プレス発表等）

添付資料
（1）スタディアス改良実験（モーター発熱対策）
（2）「ものづくりフェア」(2005.02.18-19)アンケート集計
（3）スタディアス取扱説明書（貸し出し向け）

まえがき

０．はじめに---強化学習ロボットの可能性について

人間の赤ちゃんが自ら這い、立ち、歩くことをおぼえるといったような、だれに教えられるわけでもない力獲得行動を、ロボットという人工物で実現したい——そんな挑戦から、強化学習ロボット「スタディアス」は開発された。
脚の動かし方をロボットの行動としてプログラムしておくのではなく、ロボット自身がさまざまな動きの試行錯誤や、それによる行動の成果などを通じて、最適な行動を自ら学んでいく人工知能技術の先端領域を行くスタディアスは、自由度が大きい歩行ロボットが実時間で行動獲得できるという、非常に高性能なアルゴリズムである。
情報をもとに着々とパターンを広げるその姿は、実際にそれを見る人それぞれに豊かな想像をかきたててくれる。
未知の環境での使命遂行を可能にする強化学習は、宇宙や海底などの極限状況だけでなく、家の中や庭先といった、ごく身近ではあるものの、あらかじめプログラミングできない環境で働くロボットのための技術であり、今後もさまざまな応用が期待されている。
さらにこの技術は、ロボットにとどまらず、生産、在庫管理、エレベーター制御、通信システムのバンド割り当てといった、離散系も含むシステムの最適化制御にも活用が見込まれている。

また、近年，家庭や社会、産業界など広範な分野にロボットが普及しつつある状況にあり，今後は個別の目的にむけて生産されたロボットに対し，個別に制御プログラムを開発していく必要性が生じていくものと予想される．
このような膨大なプログラミング作業を人的作業にたよって行っていくには限界がある．
さらに，個々のユーザーの要請に合わせてロボットの動作を調節したり，ロボットに新しいスキルを獲得させていくことが求められるが，ユーザーに専門的な知識 や作業を強いることはできない．

強化学習アルゴリズムやそれを実装したロボットの開発は，上記の膨大なロボットのプログラミング作業を軽減し，ユーザーに専門的なプログラミング作業を強いることなく個別のニーズに合わせた制御プログラム生成を行わせることが可能となる有望な技術である．

１　「次世代ロボット実用化プロジェクト」の目的と目標

本「次世代ロボット実用化プロジェクト」「強化学習型（動作制御自己開 発型）６脚歩行ロボットの研究開発」ではこのような機能を可能とする強化学習ロボット試作を行い2005年に開催された愛地球博会場での試験運用すると同時に強化学習アルゴリズムとそれを実装した強化学習型６脚歩行ロボットを複数の大学・研究者の知恵や知見を動員し、また、諏訪地域の産業集積の技術者、岡谷商工会議所の協働によって研究開発を進め地域の産業化の活性化を目指すことを実現しながらロボットを開発試作製作することを目的としてきた。
２００５年から２００６年には、成果普及に係る基礎資料作成のための調査を実施し、２００５年愛・地球博に出展、デモ実証を行い、またそれをふまえて改良開発を引き続き行なってきた。

今回のプロジェクトの目標は大きくわけて下記の事項に設定した。

①. 市場化を目指した強化学習型6脚歩行ロボットの研究開発製作
・販売やビジネスが可能になるレベルの「強化学習アルゴリズム」と「機能するロボット」を開発し製作製造する。
・強化学習アルゴリズムの開発そのものを今後より高度化し更に開発を加速するために
研究プラットフォームやデバイス、アーキテクチャーを調査・開発・製作する。
・当面以下　二点の開発テーマの可能性を調査研究し見極め、実現を目指す。
　　１、研究開発および教育用プラットフォームロボットとしての可能性
　　２、マーケット向けアミューズメント用ロボットとしての可能性
・今回の万博への展示等の事業を進めるなかで上記２点を含め市場化の可能性をも調査検討する。

②. 産業創生や研究開発プロセスへの貢献
・諏訪地域における産業創出、ビジネス創出にむけての機会とすることで
地域のなかからロボット開発や強化学習アルゴリズムの技術者や起業家、あるいは関連ビジネスを創出する。

③強化学習ロボットの研究内容と諏訪地域の技術や企業の内外へのアピール
・強化学習の理解とその有効性・可能性を研究開発のプロセスと愛知万博への展示・デモンストレーションを成功させることによって広く内外にアピールする。
・　先進的なロボット開発にかかわることで諏訪の産業集積地域としての高度なポテンシャルを内外にアピールする。

２強化学習ロボットプロジェクトの概要

２－１特徴的な複数の開発者や企業での連携によるプロジェクト

本プロジェクトは木村（九州大）を研究開発責任者として進めており，管理業務とロボット本体の開発（機構，エレクトロニクス，意匠）をもっぱら諏訪・岡谷地域の団体，企業(岡谷商工会議所，インダストリーネットワーク（株），長野工業高等専門学校山崎および地域工業集積の企業)が，基本コンセプ ト・理論の検証とソフトウェアの開発を大学側(九州大木村，京大喜多，東工大出口)が それぞれ担当している.

そもそも、２００４年まで東京工業大学の研究者であった木村が２００３年１２月に長野県岡谷市において行なわれた計測自動制御学会システム工学部会に講演者として来岡、その場において岡谷諏訪の産業界に強化学習ロボットとアルゴリズムが紹介された。
その優位性や将来にむけての可能性が地もと産業界や工作機械メーカーや機械工具メーカー、精密機械加工の産業集積地である岡谷諏訪地域にむかって情報が発信されたことを機会にして今回のロボットプロジェクトが始まったといっていいだろう。

本プロジェクトはコンセプトを具体化した基本モデルを木村が試作し，このうち機構，エレクトロニクス，意匠部分について，工業集積側で設計の洗練と最終のプロトタイプの製作を担当する形で進めている.
それぞれ，具体的な分担は決められており，後述のメーリングリストなどで分担箇所についての報告が行われ，メンバーに確認されることはもちろんであるが，このほか参加メンバーから随時，さまざまな提案，懸念事項の確認，関連事項の紹介などが行われている.

このように本プロジェクトは複数の大学や研究機関、中小企業などが協働して開発を進めそれぞれのコア技術や知識や経験、知見などを持ち寄りより優れた技術開発とその成果を実現していこうという目論見をもって実行されてきた。

こうした企業や大学など複数のプレーヤーが関わりながらよる優れたものづくりや開発プロジェクトを実現しようという開発プロセスの取り組みは諏訪地域の産業集積においては１０年ほど前より模索が始まっており本プロジェクト以前からもいくつもの開発プロジェクトが行なわれてきている。

もともとインターネットを利用し複数企業開発者間の間での開発製作を可能とする目標を持った「諏訪バーチャル工業団地」や異業種交流グループから派生した企業グループによる連携モデルなどとして諏訪地域は以前より広範な工業集積地から注目されてきた。
近年ではこれらのなかから「世界最速試作センター」と銘打った複数企業の出資による事業体が発足し、今回のプロジェクトにも協力者のかたちで関わった。

また、今回のプロジェクトには直接的な開発者や製作者以外にも諏訪地域を中心とした多くの中小零細企業が部品製作に協力するかたちで関わってきた。

これらの製作者にはプロジェクトの実施・実行の中で必要とする技術や知見を持った企業や技術者を
地域の産業プラットフォーム内からプロジェクトのマネジメントを受け持つ企業やプロジェクトマネジャーが
自身の権限のなかからそれらを選び出し計画に参加と協力を募り実現するという方法をとった。
これらの方法は今後地域産業集積における産学連携の新たな一つの方向性として近年注目されており
その一つの契機としても本プロジェクトが貢献できたものと評価が得られている。

２－２情報技術によるプロジェクト支援

このような連携型の開発・研究・試作における大学と工業集積のコラボレーションにはさまざまな課題があり，とりわけ，相互の距離（岡谷・諏訪地域と福岡/京都/横浜）の克服が重要である.

そこで本プロジェクトではプロジェクト全体のコーディネーションを担当するインダストリーネットワーク（株）が提供する「グープ」と呼ばれるWebベースのCSCWツールを活用している．このツールは特にものづくりプロジェクトの経験を反映して作られたもので，push型のテクノロジーである電子メールとpull型のテクノロジーであるwebを有機的に連携させており，また，ものづくりプロジェクトで頻繁にやり取りされる文書，図面，写真など多様なファイルを効果的に共有できるなどの工夫がなされている． しかしながらプロジェクトの実施にあたっては電子メールやweb だけでは，対面型のコミュニ ケーションを代替できない．とくに，ものづくりにおいては対象が’次元的（機構）であったり，機能的（エレクトロニクス，ソフトウェア）であったりし，文字情報として記述して通信することのコストはかなり高い.

そこで，対面型のコミュニ ケーションにより近いメディアとして ビデオ会議システムを多用している．ピアツーピアモードでの通信のほか，東京工業大学に設置された多 地点接続サーバを核に
岡谷，福岡，京都に置かれたビデオ会議システムをインターネット経由で接続することで多地点の会議も必要に応じて開催し， 移動の時間，経費を節約しつつ実際に会う形の会議に近いコミュニケーションを支援している.

１．研究開発の成果と達成状況

(1)研究開発の成果

①要約

１、事業概要

強化学習とは、試行錯誤を行い、その結果を”報酬”として評価し、これを増加させるというアルゴリズムにより、ロボットなどの制御対象の動作制御プログラミングを自動的に行う、学習制御の枠組みのことである。このような機能を可能とする強化学習アルゴリズムとそれを実装した強化学習型６脚歩行ロボットを大学・研究者の協力を得て、地域産業集積の技術者、企業、岡谷商工会議所の協働によって研究開発を進め複数台製作した。また、２００５年愛・地球博に出展し、デモ実証を行った。
強化学習アルゴリズムの開発はもとより、それを大学や地域産業など様々な参加者により開発するプロセス開発そのものが今後日本の産業界に広く貢献することを目指している。

２、事業実施内容

本事業では主要な開発および事業の項目として以下の４点を行った。

（１）岡谷商工会議所による強化学習アルゴリズムの開発

・外部の協力者として参加する九州大学、東京工業大学、京都大学、長野工業高等専門学校、諏訪東京理科大学の研究者を中心とし先進的技術である強化学習アルゴリズムの開発を行った。

（２）インダストリーネットワーク株式会社によるメカや筐体の設計・製作

・インダストリーネットワーク株式会社が諏訪の企業群とともに強化学習アルゴリズムのテストベットともなるロボットのメカや筐体設計と開発製造を行った。

（３）岡谷商工会議所による本プロジェクトの成果普及のための調査、委員会等開催

・強化学習ロボットの普及のための調査や関係者による情報等の共有や研究のための委員会の開催などを行った。

（４）愛・地球博でのデモ実証。

・２００５年愛・地球博に「強化学習ロボット・スタディアス」として出展し、デモンストレーションと実証を行った。

（５）　実証試験の結果に基づく改良と実用化に向けた研究。

・ロボットとしてより扱いやすくするための機構改良と扱い易い運動制御機構

・学習メカニズムを効率的にするためのスライド機構等を応用した報酬センサの精度改善

学習をさらに効率的に行うためにこの点を改良した報酬センサの機構の改良を行なった。

・ロボットの耐久性向上

長時間の運転を可能とするための下記のようなデバイスを開発してスタディアスに装着した。

a. サーボモータに装着する放熱性の高いヒートシンクなど放熱部品。

b. 静止姿勢でのサーボモータ負荷軽減のためのトーションスプリング式プリテンション機構。

英文

Summary:

1. Outline of the Project: Reinforcement Learning is a machine learning framework so as to acquire a particular function autonomously through trial-and-error. In this project, we have developed walking robots with 6 limbs through collaboration of the industrial accumulation and several universities with coordination of the Okaya Chamber of Commerce and Industry. The developed robots were demonstrated successfully in the 2005 World EXPO, AICHI, JAPAN. As well as the developed algorithm of reinforcement learning, the project aims at contribution to the society through development of the process of trial production through collaboration of industrial accumulation and university researchers.

2. Development Issues: In this project, we addressed the following issues as targets of development:

(1) Development of the reinforcement learning algorithms. Under coordination of the Okaya Chamber of Commerce and Industry, advanced reinforcement learning algorithms for acquisition of walking function by robots in real-time has been developed by researchers in Kyushu University, Tokyo Institute of Technology, Kyoto University, Nagano National Collage of Technology and Tokyo University of Science Suwa,

(2) Development of 6 limb robots. With assistance of several factories in the Suwa/Okaya area, the Industry Network Corporation has been developed 6 limb robots as a test bed for study of reinforcement learning.

(3) Investigation for Promotion of the Results: The Okaya Chamber of Commerce and Industry has investigated the promotion of the result and related issues by holding several committee meetings.

(4) Demonstration of the Robots: The developed robots were named "The Reinforcement Learning Robots STUDIOUS", and were demonstrated in the 2005 World EXPO, AICHI, JAPAN.

(5) Improvement of Robots: Based on the findings obtained in the demonstration in the EXPO, we have improved the robots in the following points for more effective application of reinforcement learning algorithms to the robots:

- Improvement of the reward sensor introducing a slider mechanism.
- Improvement of durability of the robots by a) developing the heat-sinks for servo-motors and b) introduction of the pre-tension mechanism by torsion springs for limbs.

②本文

1.強化学習アルゴリズムの開発

(1)はじめに

近年，機械に知的な判断力を持たせることは当たり前かつ不可欠となりつつある。しかし多くの場合，この知的判断を特徴づける制御規則は，設計者が知識と経験から与えているのが現状である。これは設計者に多大な試行錯誤を強いる作業であり，好ましいことではない。一方で、自然界の生物は，絶えず変化する外部環境に適応し生き残るために，新しい機能や行動を獲得し続ける能力を有している。強化学習(reinforcement learning)は、このような生物の脳のシステムを模倣し，試行錯誤を通じて動作を獲得していく仕組みを工学的に実現するための枠組みの一つであり、ロボットの制御プログラミングの自動化が期待できる技術である。

機械学習の研究分野では、計算機やネットワークについて豊富な知識や技術を持つが、メカトロニクスや電子回路については不慣れな研究者が多い。また、市販されている研究用ロボットにおいて、試行錯誤を通じて学習することを前提としたものは非常に少ない。そのため機械学習をロボットへ適用したくても、手ごろなロボットが無かった。本ロボット「スタディアス」は、多足ロボットの歩行動作獲得を題材にした強化学習研究のプラットフォームを提供する目的で、大学と諏訪地域の中小企業グループ（岡谷商工会議所）の連携により共同開発された。

(2)強化学習の概要

強化学習とは、試行錯誤を通じて環境に適応する学習制御の枠組である。教師付き学習(Supervised learning)と異なり、状態入力に対する正しい行動出力を明示的に示す教師が存在しない。その代わり報酬というスカラーの情報を手がかりにして学習するが、報酬にはノイズや遅れがある。そのため，行動を実行した直後の報酬をみるだけでは、学習主体はその行動が正しかったかどうかを判断できないという困難を伴う。強化学習アルゴリズムには、試行錯誤の過程において全状態-行動対に対する評価値を推定した後、学習後は最も評価値の高い状態-行動対を実行する Q-learning という学習方法と、状態入力に対する行動の選択確率を表す政策関数を用意し、試行錯誤の過程で状態評価値を推定すると同時に、この推定値を参考にして政策関数のパラメータを修正していくことにより、挙動を徐々に改善していく Actor-Critic と呼ばれる学習方法の２種類が知られている。従来、ロボットにおける行動獲得では、Actor-Critic アルゴリズムのほうが実績があったのに対し、Q-learning アルゴリズムではロボットのような多自由度の膨大な行動において行動選択や学習を行うことが困難だったが、スタディアスロボットの開発において、Q-learning にランダムタイリングによる状態-行動評価の関数近似方法と Gibbs サンプリングによる行動選択方法を組み合わせることによってロボットの強化学習を行うことが可能になった。

(3)ロボットの仕様

以下に本ロボットの仕様を説明する。本ロボットは強化学習理論の研究用としての使用を目的としている。そのため、学習アルゴリズムの修正を頻繁に行ったり、学習途中のデータ観測を容易に行えるようにするために、学習をはじめとするコントローラ機能は Java 言語を使用して汎用 PC 上に実装されている。ロボット本体は上記コントローラへセンサの情報を送ったり、コントローラからの行動コマンドを解釈して実行するだけの単純な機能を持ち、LAN を通してコントロールされる。図 1-3-1 に示すように複数のロボットをネットワーク上のサーバとして設定し、LAN を介して UDP プロトコルによってそれぞれのサーバへ接続して通信することにより、同一の強化学習プログラムによって異なるロボットを学習させることも可能である。ネットワーク上の学習器は、ロボットの 12 個ある関節の角度および各足先の接地の有無を状態として観測し、各関節を動かすモータへの指令値を行動として出力する。ロボットの底面には、ボディの移動を検出するための車輪型センサが取り付けられ、まっすぐ前進した場合に「報酬」と呼ばれる信号が最大になるよう設定する。報酬は複数種類が用意されており、後進や旋回などの学習目標にも対応できる。

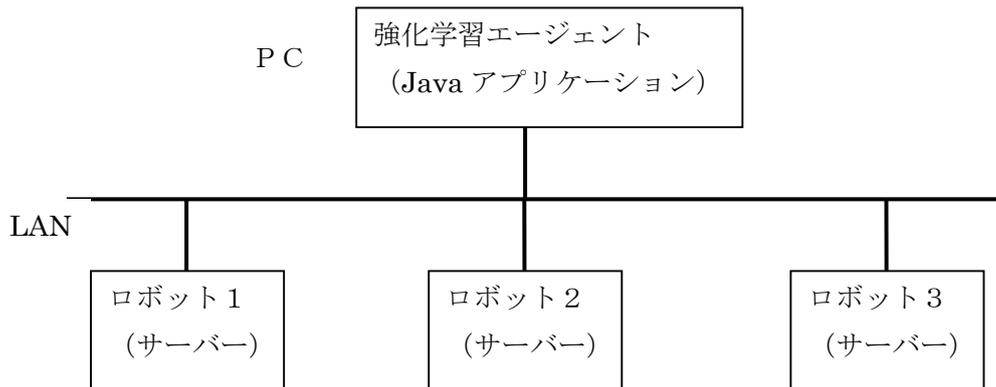



図 1-3-1　システムのネットワーク構成。
各ロボットはネットワーク上の異なるサーバに見える。

2.メカ、筐体の設計･製作

開発のプロセス

学習ロボットのメカ、機構部の設計製作に当たっては大きく分けて以下の 3 段階のプロセスを経て行なわれた。

・プロトタイプ

・量産プロトタイプ

・量産タイプ

1 次モデル

最終モデル（軽量化モデル）

(1)プロトタイプの設計開発、製作と評価

・プロトタイプの仕様

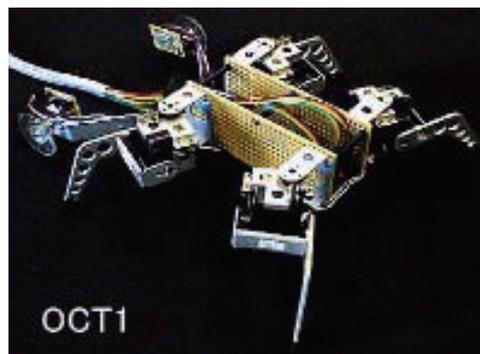
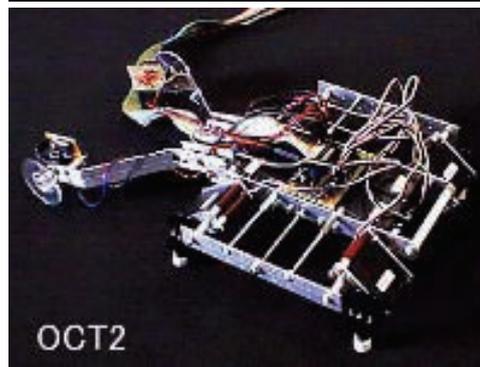
九州大学木村助教授の開発した 2 タイプの学習ロボットが存在していた。

OCT1・・・クモ型

OCT2・・・犬型

図 2-1-1 九州大学のロボット

2 タイプとも 8 個のモーターを使用した 4 足ロボットである。

プロトタイプとしてはこれら 2 台よりも更に効率の良い歩行性能が出来る足の構造の開発を目指す。

①プロトタイプ構想設計

プロトタイプの構想にあたっては上記 2 タイプの足構造を参考に構想を始めた。

・クモ型足構造

１本の足は２つのモーターを駆動元とした足構造であり、各モーターは足を上下させる機能と足を前後させる機能を担う。

4本足を使っての歩行の様子を見ると進行方向に対して左右への振れが大きく発生し効率の良い歩行ではない。

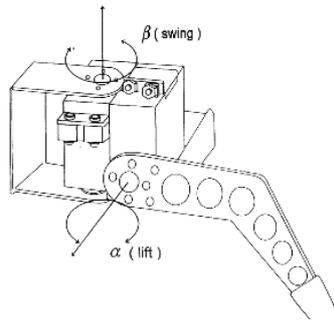



図 2-1-2 OCT1 クモ型足構造

・イヌ型足構造

クモ型と同様 1 足に 2 つのモーターを使用するが　2 つの関節に設けられたモーターはそれぞれの明確な機能分担は持たない。この為制御に関してはクモ型より難しくなる。

歩行の状態を見ると歩幅が小さく歩行速度は低いがクモ型に比べ左右への振れが少なく効率は良さそうである。

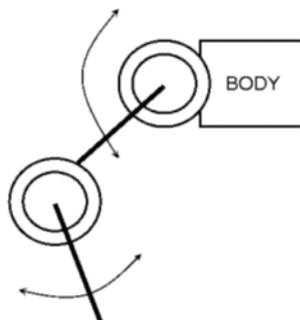



図 2-1-3 OCT2 イヌ型足構造

・　プロトタイプの足構造

クモ型、犬型の構造を解析し以下の様な犬型を変形発展させた蟹型の構造を検討した。犬型と同様1足に付き2個のモーターを使用する。

ロボット全体としては6本足の構成としまさに蟹のように横歩きをするスタイルを想定した。

犬型の足構造では1つのモーターの先に次の関節のモーターがぶら下がっており重い足回りになっていた。

蟹型の足構造では関節を持つ構造であるが2つのモーター共ボディーに配置しリンクで足を動かす構造とする。

これにより足の可動部の重量が軽くなりモーターの負荷も低減できる。

またリンクのアームの長さにより足の動作範囲、スピード、力の設定の自由度が大きくなる。

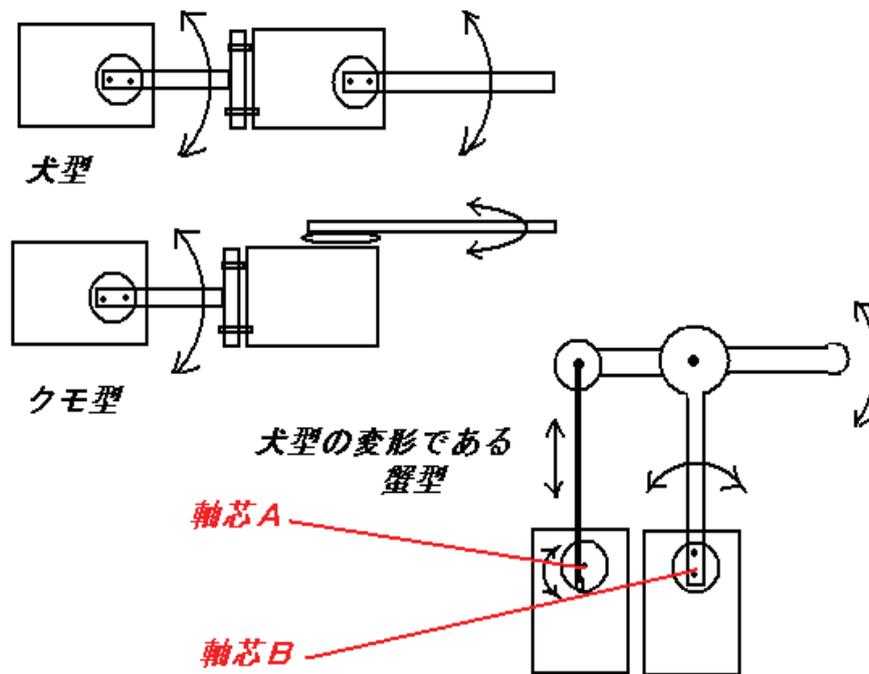



図2-1-4 プロトタイプの足構造検討図

②プロトタイプ詳細設計

1 足を構成する 2 本のアームに対して 1 本のアームはモーターからダイレクトに駆動する。

もう 1 本のアームはクランクを介しリンクで駆動する。

この構成の 4 本足ロボットを設計した。

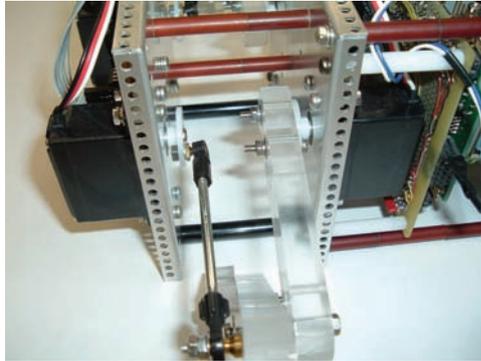



図 2-1-5.1 プロトタイプ足部

この段階では追求していないが　最終形態と比較すると 1 足の機構エリアが非常に大きい

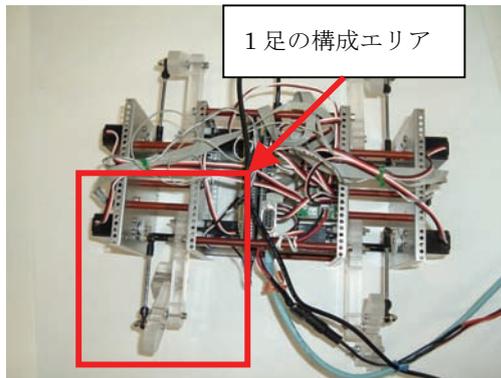



図 2-1-5.2 プロトタイプ全容

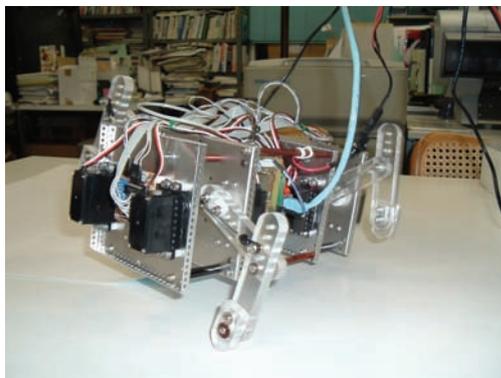



図 2-1-5.3 プロトタイプ全容

③評価

選択したモーターで十分パワーがある事が分かった。

無駄なスペースが大きくさらに小型化が可能である。

(2) 万博向けの仕様とビジネス化に向けた仕様とを勘案した機能仕様の決定

・機能仕様

効率の良い歩行性能

小型化

プロトタイプの占有面積で 6 本足のロボットを目指す

軽量化

モーターの負荷を低減させ耐久性の改善のつなげる。

耐久性

いろいろのイベントで使用出来、連続運転を可能にする。

使い勝手

簡単なマニアルを参照することでロボットを誰でも動かせる様なロボット動作環境システムを造る。

デザイン

イベント等で見ている人に興味や関心を持ってもらえる様なフォルムデザインを持つ。

(3) 機能仕様に準じた量産プロトタイプの設計開発、製作と評価

①構想設計

・歩行性能

基本的にはプロトタイプと同様な1足に付き2つのアームから成る蟹足構造とする。

・小型化

プロトタイプは 1 足の機能に大きなスペースを必要としたがこれを大幅縮小する。

また1足をユニット化することで6本足ロボットの構成をシンプルにし設計、組立性、メンテナンス性を容易にする。

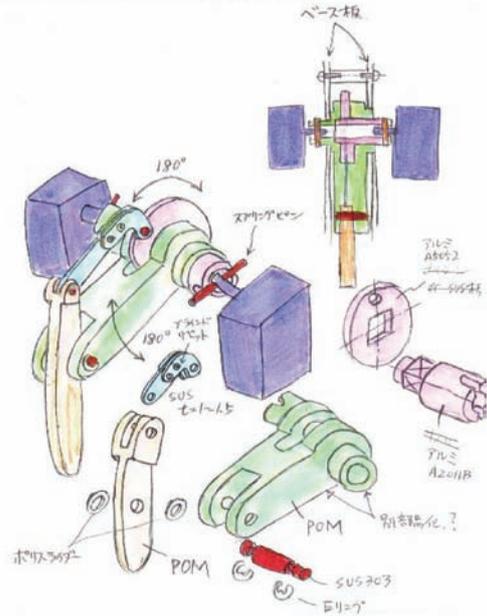



図 2-3-1 量産プロトタイプ構想図

・具体的な機構構成の検討

足を構成する 2 本のアームの可動範囲確保や関連性、コンパクト化の必要から 2 つのモーターを同軸に配する構造が検討された。

ただしこの構造では各アームを動かす部品の形状が複雑になり又組立性もかなり難しい構成とならざるを得なかった。

②詳細設計

同軸上に１本のアームともう１本のアームを動かすクランクを配置する構造を検討した。

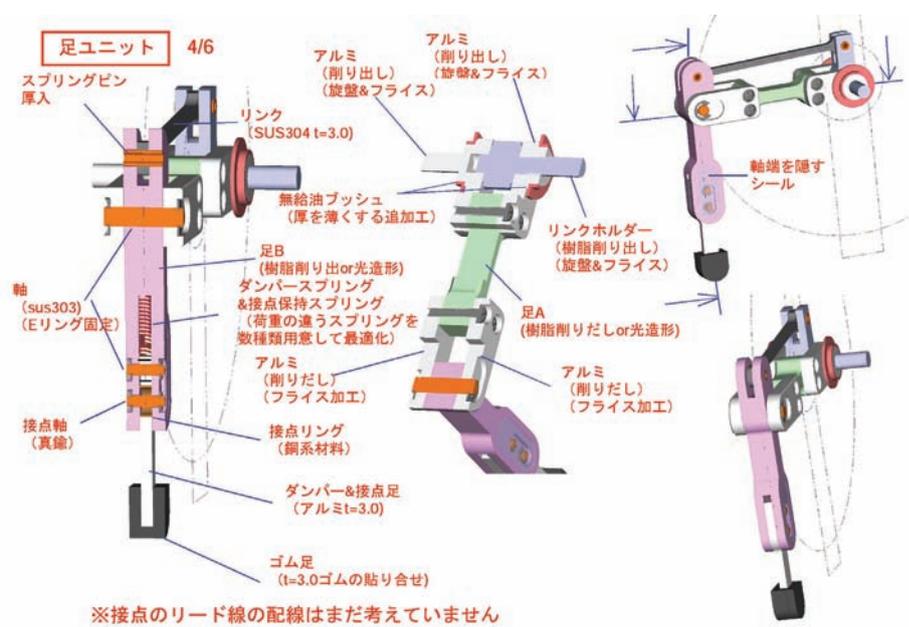



図 2-3-2.1 量産プロトタイプ足設計図

センサー部分の詳細

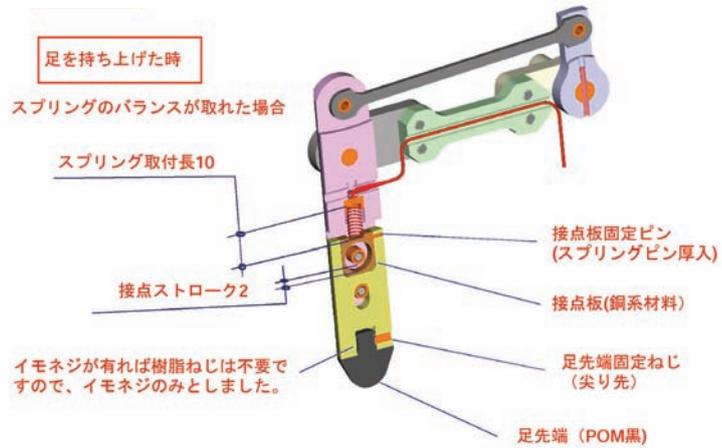



図 2-3-2.2 量産プロトタイプ　センサー部設計図

モーターとの組立構造

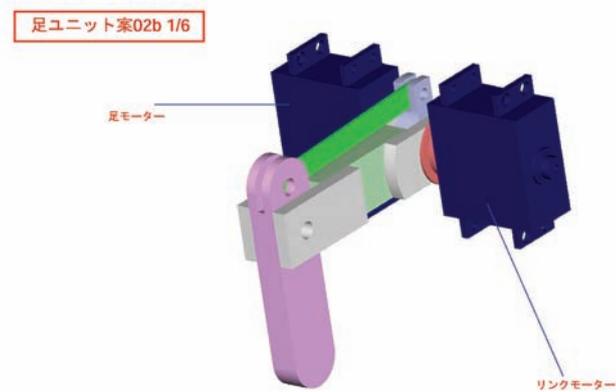



図 2-3-2.3 量産プロトタイプ　１足構造

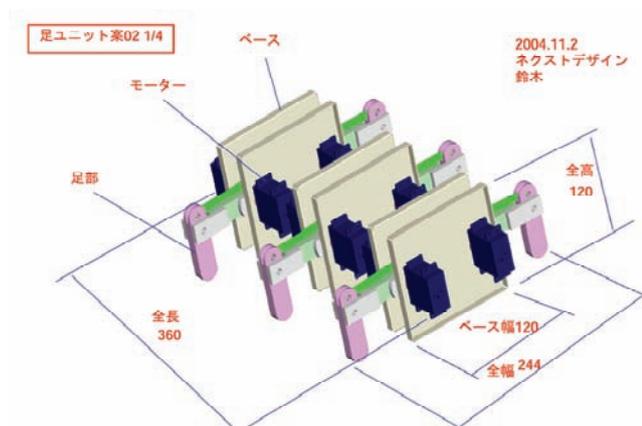



図 2-3-2.4 量産プロトタイプ　６足構造

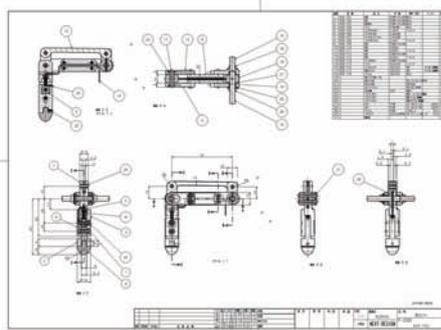



図 2-3-3 量産プロトタイプアーム部設計図

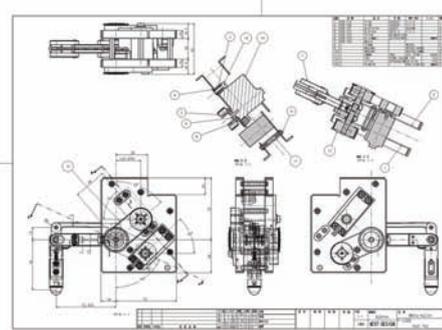



図 2-3-4 量産プロトタイプ
1 足ユニット設計図

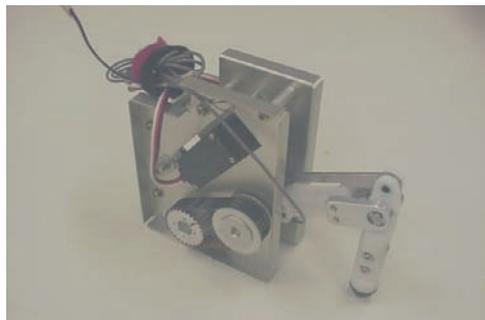



図 2-3-5 量産プロトタイプ 1 足ユニット完成写真

③評価

この量産プロトタイプ段階では開発日程、開発コストの関係で 6 本足のロボットまでにはせず 1 足のユニットまでの試作とした。

目標としていた 1 足ごとのユニット化が出来、コンパクトな 6 本足ロボットの実現見通しが立った。

問題点として足を構成するアームの動作範囲が少なく効率の良い歩行に十分なストロークが確保出来ていないと判断した。

(4) 量産プロトタイプに準じた量産ロボットの設計生産

①構想設計

図 2-4-1 関係者による検討会

量産プロトタイプの問題点であるアームの動作範囲を広げる改良に当たってはコンパクト化を狙って 2 つのﾓｰﾀｰを同軸上に配置する構造はそのままとしたことにより、クランク部の機構、部品形状、組立性等を十分考慮する必要があった。

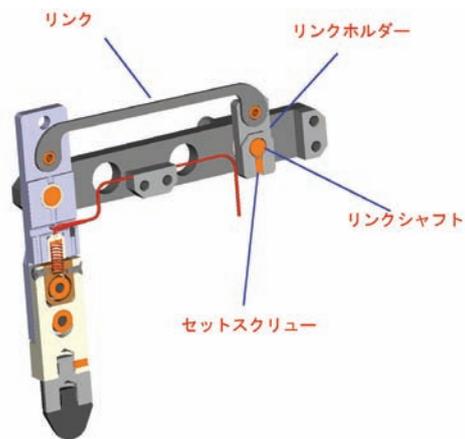



図 2-4-2 クランク　アームタイプ検討図

アームタイプ
　クランクシャフトとクランク部を別体とする案。
各部品の形状、加工は安易となるが組み上がりの精度を上げるのは難しい。

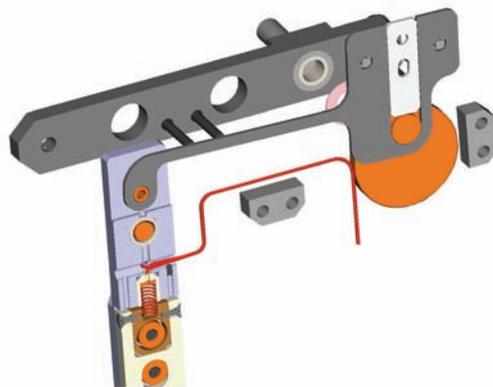



図 2-4-3 クランク　クランク一体型検討図

クランク一体型
クランクシャフト、クランク部を一体とする構造。
　逆にアーム側を分割構造とし組立を容易にする。
　部品加工は難しくなるが出来上がりの精度は高い。

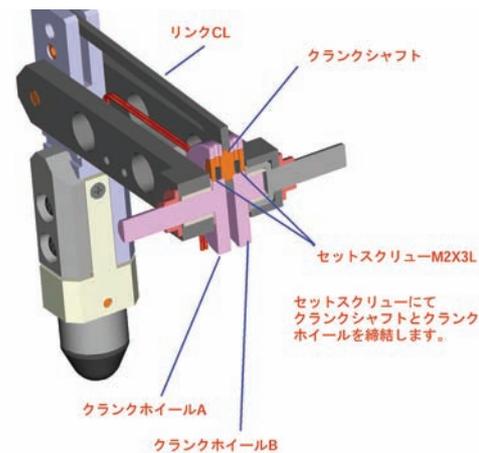



図 2-4-4 クランク　クランク組立型検討図

クランク組立型
　クランクピンを別部品とする案。
　アームタイプと一体型の折衷案。

②詳細設計

クランクの構造はアームタイプを採用した。

　クランク軸との組立精度はクランク軸とクランクに位置決めを設け精度を確保した。

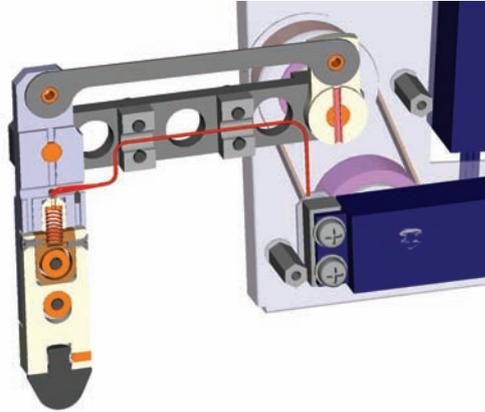



図 2-4-5 量産ロボット　足構成図

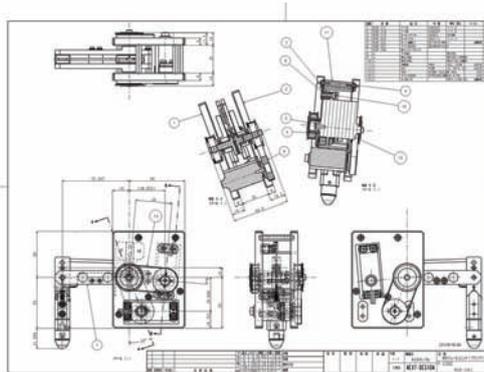



図 2-4-6 量産ロボット１足ユニット
（軽量化前）

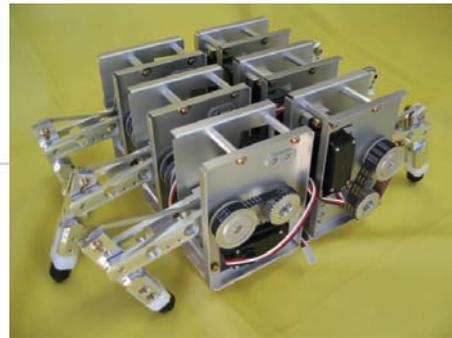



図 2-4-7 量産ロボット６足状態
（軽量化前）

③評価

改善項目であったアームの動作範囲は拡大され満足のいく結果であった。

しかし、足先センサーやクランク機構等によりいつの間にか重量が増しており軽量化が必要になった。

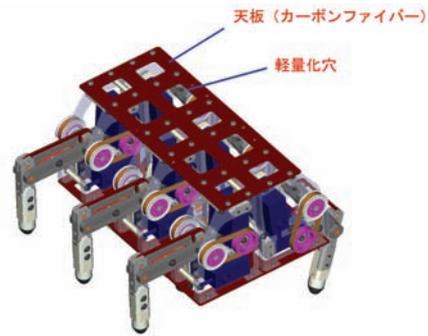
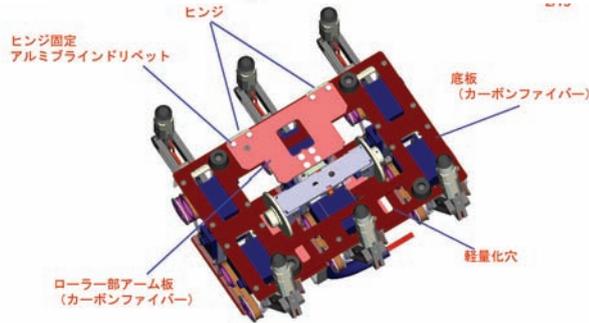
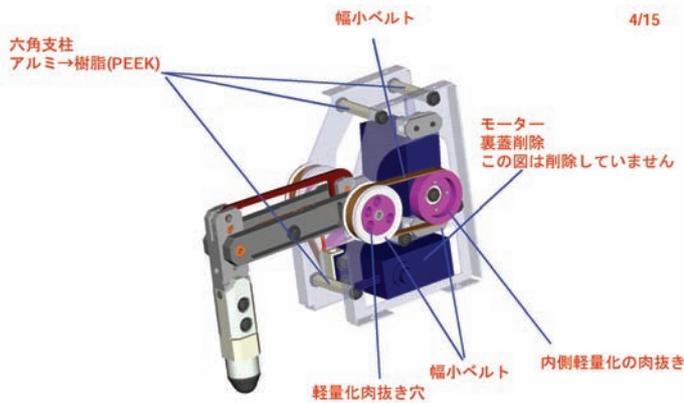
この時点での大規模な機構の見直しは困難である為　主に材質の変更、肉盗みで対応することとした。

主な軽量化ポイント

・上下プレートをカーボン材に変更

・アルミ材アームの肉盗み

・アルミシャフトを樹脂シャフトに変更

軽量化内容

上面プレートをアルミ材から
カーボン材に変更

底面プレートをアルミ材から
カーボン材に変更

アルミ材の肉抜き
支柱をアルミ材から樹脂に
変更

ネジ使用数削減
アルミ材の肉抜き
アルミ材から樹脂、カーボン
材へ変更

図 2-4-8 量産ロボット　軽量化内容

最終量産ロボット

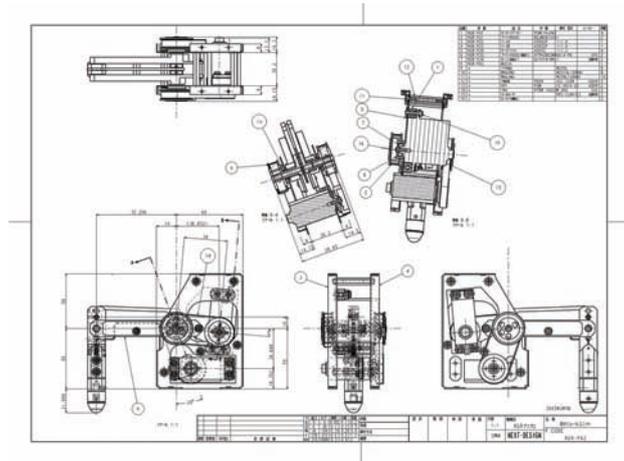



図 2-4-9 最終量産ロボット 1 足ユニット設計図

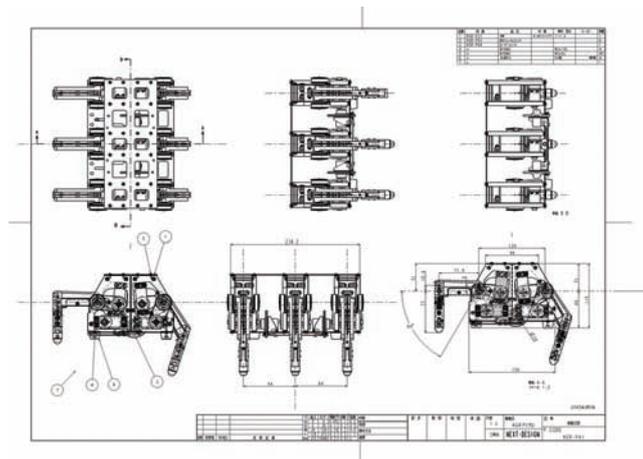



図 2-4-10 最終量産ロボット 6 足ユニット設計図

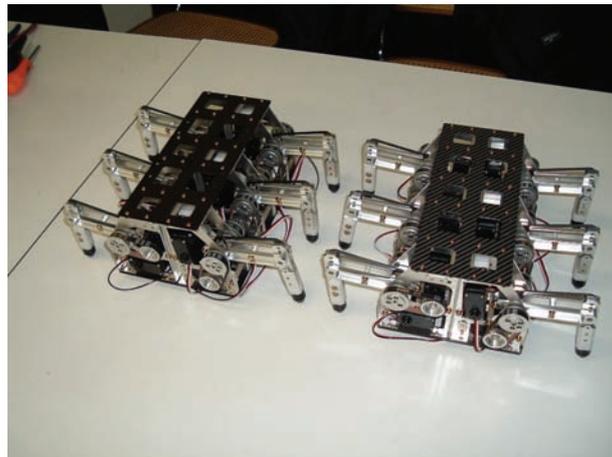



図 2-4-11 最終ロボット　完成写真

(5)報酬センサー部の開発

報酬センサーは　学習ロボットの地面に対しての移動量を読み取る装置である。センサー部はロータリーエンコーダーを使用し取り付けたローラーの回転量で移動量を読み取る。ロボット本体は常に上下左右の動きを伴いながら歩行する為　如何なる姿勢においても可能な限り正確に移動量を読み取る事が要求される。

①プロトタイプ

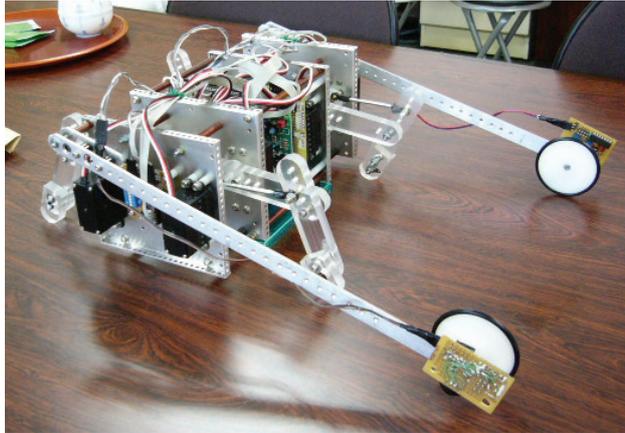



図 2-5-1 プロトタイプ報酬センサー

シンプルな構造であるが
　強度的に弱い。
センサーアームの自由度
　は 1 軸であるがアーム
　が長い為ロボットの姿
　勢変化の影響を受けに
　くい。
スペースを取ってしまう。

②量産プロトタイプ

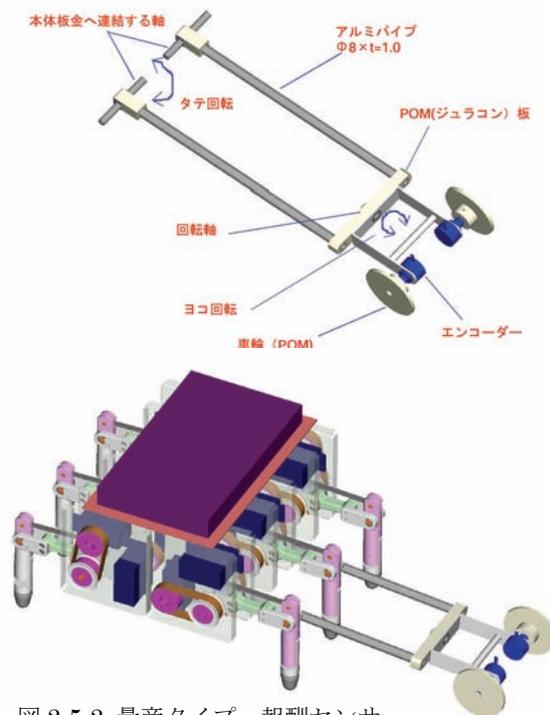
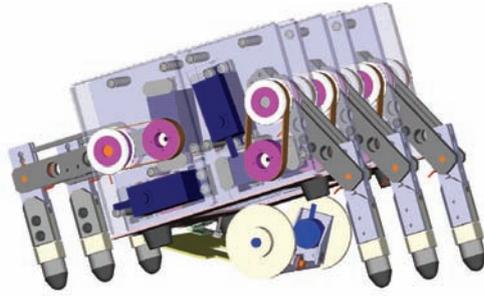
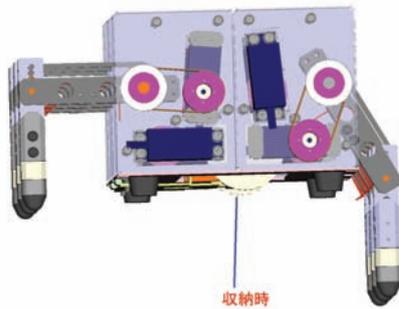



図 2-5-2 量産タイプ　報酬センサー

センサーアームは 2 軸の自由度を持ち　ロボットの如何なる姿勢にも対応出来る。
アームが連結されている為強度は上がっている。

プロトタイプ同様センサーアームが長いメリットがある。
反面センサーの占めるエリアが大きくロボットとしてのスマートさに欠ける。

③量産ロボット

ロボットの見栄えを考慮しセンサー部を出来るだけコンパクトに収める事を重視した。

ロボット本体のアームユニット間の隙間にセンサーローラーが納まる構造とした。

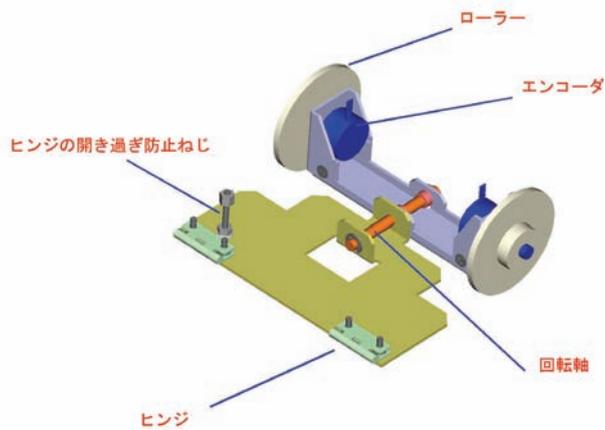
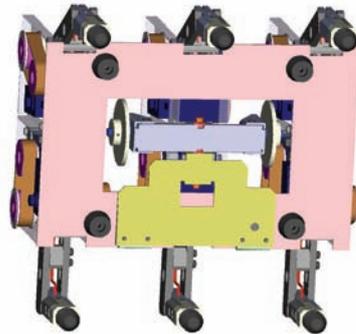
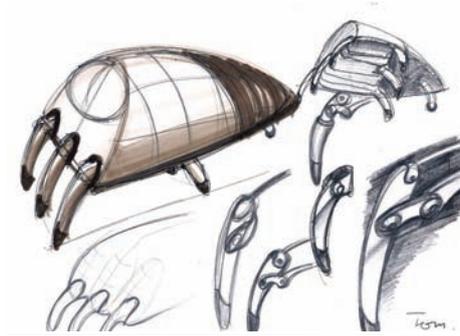
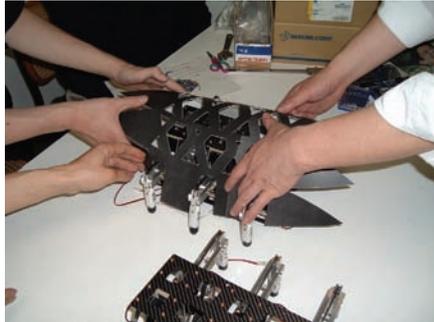



図 2-5-3 量産ロボット　報酬センサー

プロトタイプと同様 2 軸の自由度を持つが　コンパクト設計を重視した為センサーアームの長さは短くなりロボットの姿勢変化に対する影響を受けやすくなった。
（姿勢変化に対する対策は 2 年目の研究テーマとして実施）

(6) フォルムの検討

岡谷市の工業デザイナーによるデザインデッサン。

諏訪東京理科大の生徒によるフォルム作成検討。

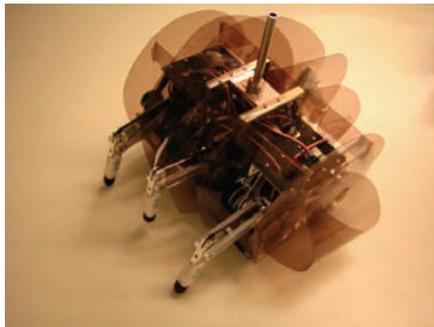
かつて岡谷市の大きな産業であった生糸を用いた試作。

プラスチックシートを用いた試作。
最終形状に近いイメージ。

図 2-6-1 フォルムの検討経過

最終フォルム形状
プラスチックシートを用いたフォルムとした。
メンテナンス性
熱がこもらない構造
激しい足の動きの邪魔にならない形状
親しみやすいデザイン

3.岡谷商工会議所によるプロジェクトの成果普及のための調査、委員会の開催

岡谷商工会議所が中心になりロボットのプロモートやアピールを担い研究結果の普及を図る為地元メディアへの積極的なアピールを行うとともに全員参加の研究会、委員会を主催、開催した。

又、教育用教材への応用、普及への調査実施を行った。

「ものづくりフェア」アンケート集計・・・添付資料(2)

スタディアスの貸出用マニュアル・・・・・添付資料(3)

２００４年６月

木村助教授、出口教授、喜多教授、山崎教授ら先生がたと岡谷諏訪の企業メンバーがあつまり最初のキックオフミーティングを行った。ここでは今回のロボットプロジェクトの全体の概要や目標、などについて参加メンバーで確認しそれぞれの任務分担を行った。

主に大学や研究者側が強化学習アルゴリズムの開発を行い諏訪岡谷の企業群がロボットのデザインや筐体の製作、電気部品周りの製作を行うこととした。

ロボットそのものの機能仕様や構成などについて議論した。

ほかに以下のようにプロジェクト全体のすすめかたなどについて議論を行った。

・目的

・経緯と目標

・メンバー・役割分担

・スケジュール

２００４年７月～１０月

ロボットの基本的な要素について決定し木村助教授の提案する基本的な試作実証モデルを設計製作した。最終モデルの基本的な構成についてもこのときの実証モデルを検討するなかで詳細について評価しほぼ決定した。

２００４年１０月１５日１６日

諏訪地域で行われた「諏訪圏工業メッセ」という工業系のイベントにて木村助教授が来諏しロボットの開発状況と課題や問題点、などについて諏訪岡谷の企業群のメンバーと議論を行った。

２００４年１１月

木村助教授のもとで初期の実証モデルの実証と検証を行った。

２００４年１２月中旬

実証モデルを元に一次プロトタイプモデルのおおよそのコンセプトを決定設計にとりかかり１月初旬には最初のプロトタイプの基本単位となるモジュールを一足だけ製作した。

２００４年１２月１０日１１日
木村助教授、出口教授、喜多教授、山崎教授ら先生がたと岡谷諏訪の企業メンバーがあつまりロボット開発にむけたミーティングを行った。
ここでは大まかな大きさ、や構成などロボットのコンセプトの詳細を決定した。犬型、蜘蛛型、などが当初考えられたが今回、６足かに型ロボットとすることとした。
６足かに型ロボットとするとアクチュエータの取りまわしなどで全幅が大幅に大きくなってしまうことが考えられるので設計に反映させることにした。
足部分は一つひとつのモジュールとして作りそれをつないで６足のロボットにすることにした。
こうすることでモジュールを多彩につなぎ多様な形態のロボットを作成し今後強化学習アルゴリズムの開発にも反映できると考えた。

２００５年１月～２月
問題点・課題を解決した二次プロトタイプモデルを一台、設計製作した。

これを木村助教授のもとで検証し、基本的な構成や設計に問題はないことを確認した。更に愛知万博での使用に耐えられるように剛性と軽量化を目指すこととした。

２００５年２月１５、１６日
岡谷市で行われた「岡谷ものづくりフェア」に強化学習ロボットの二次プロトタイプモデルを出展した。
強化学習ロボットとアルゴリズム、またプロジェクトの概要についてパネルなどで来場者に説明した。
来場者に強化学習ロボットについて理解や可能性やアイディアについてなどを集約するためにアンケートを約５０人から集めた。

２００５年３月中旬
基本モデルや副次にわたるプロトタイプを参照しながら，工業集積側で機構部（脚部，サーボモータのマウント方式，足先接地センサ，報酬用移動距離計測部、軽量化、など），電子回路部の検討を中心に最終プロトタイプの設計がほぼ終了し工業集積側で最終モデルの製作が開始された．
再設計を行い最終軽量化バージョンを２台製作、細かな部分のつめや組立にむけた合理設計を終え、３月一杯を目途に、最終軽量化バージョンを合計８台、製作している

２００５年４月～６月
木村助教授のもとで最終軽量化バージョンによる学習を進め愛知万博でのデモンストレーションにむけた細かなつめやシナリオ作りを行った。

２００５年６月
愛知万博でデモ実証を行なった。

２００５年１２月～２００６年３月
万博でのデモ実証をふまえて改良を行なった。

２００５年６月～２００６年３月
地元産業界などで行なわれた産業メッセや展示会などで展示デモを頻繁に行なった
また、テレビや新聞などでの強化学習ロボットについてのデモやアピールを行なった。

５月１１日
理科大市川研究室のロボット開発や組み立ての状況の見学を地元産業界の経営者で行なった。
本プロジェクトで開発や組み立てなどを担当する理科大市川研究室にこのプロジェクトの機会を捉え、地元企業の経営者の見学の機会を設けた。
市川研究室が開発している２足歩行ロボットを含めスタディアスなどを見ていただき同時に研究室の学生と地元企業との懇談も同時に行なうことができた。

６月８日６月１９日
万博でのデモ風景

愛知万博でのデモを行なった。
万博を通しての技術的な評価や研究内容についての評価は別紙にまとめるが、万博全体の報告書にはかかれていなかったことを中心にイベントそのものから感じたことやまなぶべきこととして以下に書く。

全国のロボット研究者が一同に集まり１０日間ものあいだ顔をつなぐ機会を得られたことにより、我々のグループだけでなく全国のロボット研究者の技術や様々な情報の交流の場、機会になっていたようだ。
時間によっては他の研究グループの展示に異なる研究グループが頻繁に訪れ情報交換や名刺交換を行なっている姿が頻繁に見られた。
ただ、残念なことはその間をつなぐコーディネータ的な役割を担う人や研究者が存在していない、（本来その目的が万博のプロジェクトには設定されていなかったのであろうからいたしかたないといえばいえるのであろうが）現場の状況では有名なプロジェクトや他者とつながりの多い研究者などが中心になって他のグループ同士をつなげている姿をみかけた。今後このような機会がある場合には研究者同士のネットワークを作れるような仕組みを持つようにしてみたら良いのではないかと思えた。

我々のグループのブースも含めどこのデモブースも来場者が多くうまく展示を行なっていたように見える。
子どもたちや小中高校生の来訪が多く、小学校生の場合は親の同伴が多い。
我々のスタディアスについてはＮＨＫの特別番組で見たという感想が多く、興味を持って感想などが多い寄せられた。
我々のグループの展示デモは諏訪東京理科大市川研究室の学生の奮闘によるところが大きい。
若い学生達が展示を行なっていることで来場者からも気軽に質問や感想などが寄せられた一面があるように見える。
基本的に安全のために子ども達にロボットそのものをさわらせないようにする方針でいたが、動作をしない電源をはずしたロボットに関しては極力子ども達にさわらせるようにした。
これは子ども達の興味を引き非常に効果があったと思える。強く興味を持った子ども達の顔と目は強く印象に残った。
なお、会場には初日にテレビやマスコミが訪れ、取材をしてくれたが、これは万博に来場者を牽引するためにも、あるいは地元などにおいて万博後にデモや展示のイベントを行なった際、来場者を増やしたりするためには非常に効果的であったと思えた。
新聞社やテレビ局もロボットを題材としながらも子ども達が若い研究者にむかって興味深

く触ったり質問している状況に題材としての価値を見出したらしくもっぱらそんな光景を取材していたようだ。

６月２９日
松本工業高校講演会

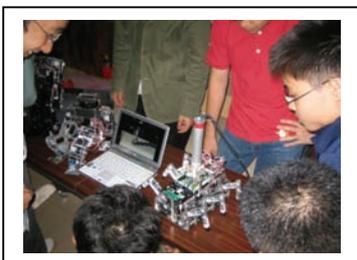
万博での展示デモ後、地元松本工業高等学校からスタディアスのことやそれを中心として地元産業界と大学や研究機関との連携、地元工業系高校に対する期待や要請などについて講演の依頼があった。
同時にスディアスのデモと展示、説明を行なった。

６月２９日松本工業高校講演会
１　日　時　　６月２９日（水）
　　　　　　　　１２：４５〜１４：１５（９０分）
２　会　場　　松本工業高校　視聴覚室
３　聴講者　　電子工業科　３年生（７３名）
４　その他
演　題「電子ネットワークの急速な発展による
　　　　新たな社会や産業の在り方の可能性について」

７月１６日

「ロボバトルｉｎ下諏訪」で子供用ロボットの組み立てイベントにおいてスタディアスの展示とデモ

１０月１日

下諏訪「ロボコンイン信州２００５」でスタディアスの展示とデモ

地元下諏訪町では小学生や中学生むけに小型の簡易なロボット組み立てキットを開発しこれをもとに教育や人材育成を念頭にいれた組み立て学習体験イベントとそれを機会をさらに発展させたイベント　「ロボバトルｉｎ下諏訪」を行なっている。今回の　「ロボバトルｉｎ下諏訪」では７月に前述の組み立て体験イベントを行い、また１０月にはそこで組み立てが完了した簡易組み立てロボットを使ったイベントと県内高校生を中心としロボット研究などをクラブ活動の軸としている部活の先生や生徒などがあつまりトレースロボットや相撲ロボットなどの競争イベント「ロボコンイン信州２００５」を併催した。

６月の万博に出場したスタディアスにも展示デモの要請があり両日に渡って展示とデモを行なった。

特に高校生の興味をひき、多くの高校生や学生がブースを訪れた。

テレビ・新聞などで見た。強化学習とはなにか、など質問や交流意見などが多く寄せられた

８月５日

長野県工業試験場「研究発表会+地域披露イベント」でのデモ

長野県工業試験場の開催する研究発表会+地域披露イベントにてデモの要請があり参加した。

当日は以下のように子ども達の参加というよりは研究所の研究者や職員、近隣の市民による参加が多かった。

諏訪東京理科大市川研究室と学生によるデモと展示、また講演の内容としては、今回のスタディアスプロジェクトでは諏訪地域の製造企業と様々な大学や研究機関の協働でロボット開発を行なったが今後はそういった異なる様々な知見や技術などを持つ人々の連携による技術進化や産業創生のやり方が重要であり、カギになるのではないかという話をした。

非常に興味をもっていただけた。

長野県工業試験場研究発表会+地域披露イベントにてデモと講演会、概要

１　日時　８月５日(金)　１３：３０～１５：３０(質疑を含めて)

２　場所　長野県工業技術総合センター　大会議室

３　演題　「 諏訪地域における産学官連携によるものづくりプロジェクト」

　　　　　～学習機能を持つ知能ロボット”スタディアス”の開発を中心として～

- 諏訪地域における産学連携によるものづくりプロジェクト
  - 諏訪地域の製造業の問題点と課題
  - 現在諏訪地域が目指している方向
  - 大学・研究機関と地域産業の連携によるものづくりの状況
- 実際のデモ（できれば二足ロボットと強化学習の両方で）
- 市川先生の強化学習などロボット関連のいまどきのホットな説明

子供というよりは試験場の研究者や一般市民が集まります。

テレビの放送されたものなど使いﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾀｰなどを使ってできるだけわかりやすく説明します。

８月１０日

価値づくり研究発表会カチケンでのデモ風景

諏訪地方においてはインダストリーネットワークを中心として地域の中小企業や大学研究者、研究機関、その他産業創生や地域振興に興味や価値観をもつ様々な人々に呼びかけ４年ほど前まえより「価値作り研究発表会（カチケン）」というイベントを開催している。

「自社はこのようなものを開発している」、「ビジネスモデルを考えた」、「だれか協力者はいないか」、など産業にむすぶいろいろな意見やアイディアやモデルを披露し、協力体制を築き最終的に産業活性化と産業創生を実現する機会とするのが大きな目的である。

今回、このカチケンに強化学習ロボットを展示、デモを行い様々な意見やアイディアを募ることとした。そこで寄せられたアイディアや意見はここに記載することは控えるが様々なアイディアや意見、ビジネスモデルの考案が寄せられた。

当日は長野県内に放送網を広げる信越放送の取材クルーが訪れ、ロボットのデモを取材し後日（８月と２００５年の年末特別番組）県内にむけてカチケンの内容全体とともに放送された。

１０月１２日１３日１４日

諏訪圏工業メッセでのスタディアスの展示とデモ風景

５年前より諏訪地方においては工業産業むけのイベントとして「諏訪圏工業メッセ」が行なわれている。
諏訪地域はもとより近県をふくめ最大の工業向け展示及びマッチングの機会として急速に注目をあびるようになっている。
このイベントにインダストリーンネットワーク、及び諏訪東京理科大市川研究室、またスタディアスの開発に協力を願った複数の企業の共同の展示として「スワグラム」と称し、展示デモを行なった。
市場と大学研究機関、そして産業界の三者が力をあわせ新たな産業創生とものづくりを始めようという
諏訪のものづくりの方法をスワグラムと称した。
このなかの一つとして様々な大学や研究機関、地元産業界による共同のプロジェクトの成果として
スタディアスの展示とデモを行なった。
三日間のなかで１０００名を越す人々がブースを訪れ様々な質問や意見、そして諏訪地域の一つの方向が精密産業を基盤としたロボット開発なども一つの方向として有力であり地元や様々な大学などと連携を深めていくことによってそれが可能になっていくだろう、というメッセージをかかげ発信することができた。（メッセ全体では約２００００名を越す来場者）
最終日には会場内のデモ用スペースにて１５０人ほどの会場来場者の見守るなかスタディアスのデモと
今回のプロジェクトの目的な概要、諏訪地域の産業との関連性、今後の目標などを発表した。

１０月１９日２０日

ＤＴＦ国際フォーラムでのスタディアスの展示とデモ風景

諏訪地域においては５年ほどまえより机の上に載るほど小型の産業用機械設備の研究と開発が複数の企業による研究会を中心にすすめられている。

こういった機械はデスクトップファクトリーと呼ばれ、研究会はＤＴＦ研究会と称されている。

すでに諏訪において全国規模の発表イベントが行なわれているが２００５年１０月には国際的な研究者を招きＤＴＦ国際フォーラムを６００人規模で開催した。

このなかに本プロジェクトのメンバーであり、また、ＤＴＦ研究会のメンバーであるインダストリーネットワーク社から強化学習アルゴリズムとそのロボット「スタディアス」のブース展示を行なった。

ロボットのみならず産業用の設備などにも有効な先端的な技術であることを説明し多くの来場者の興味と関心を捉え活発な意見交流も行なうことができた。

１０月２９日３０日

松本工業フェアでのスタディアスの展示とデモ風景

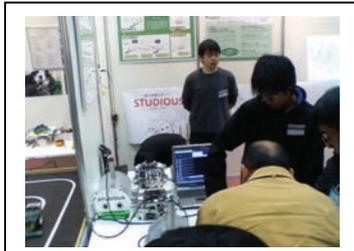
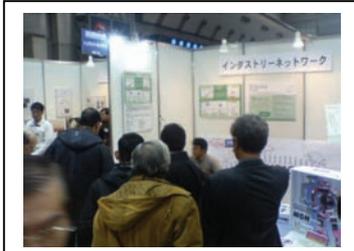
１０月２９日３０日に長野県松本で行なわれた松本工業フェアは近隣の産業関係者や市民が集う工業系イベントとして評価、注目をあつめている。

今回のイベントでは産学連携のマッチングを一つのテーマとして企画がもたれておりそのなかで産学連携の一つの形として諏訪の企業群と大学との連携によって開発製作し万博に

展示・デモが行なわれたスタディアスを展示してもらいたいとの要請をうけ諏訪理科大市川研究室の協力のもと展示とデモを行なった。
二日で約５００人の子どもと親がブースを訪れた。
ＮＨＫなどのテレビ放送ですでに何度も見たことがある、という意見も多数寄せられ、関心の高さを知ると同時に子どもたち自身のロボットに対する関心と興味の深まりを強く感じることができた。
また、今後も常設的な展示やデモの機会を持つことが子ども達や人材育成ぬむけて必要なものになるであろうことも実感できた。

当日日程及び内容及び講師

パフォーマンスロボット『スタディアス」は、人工知能を持つ歩行型学習ロボット。自らが考えながら行動し、試行錯誤を繰り返して歩行を学習し、報酬を与えることで能力がアップする仕組みになっている。
岡谷商工会議所が提案し、九州大や京都大、諏訪東京理科大、東京工業大、長野高専および諏訪地方の中小企業十五社の連携で約一年かけて企画、製作した。
【プロジェクトリーダー：インダストリーネットワーク（岡谷市南宮）の大橋俊夫社長】

１２月５日
国際ロボット展
2005 12 05

１２月５日に東京ビックサイトで開催された国際ロボット展　RT交流プラザベンチャーにインダストリーネットワーク社と諏訪東京理科大市川研究室とで出展、展示とデモを行なった。

国際ロボット展　RT交流プラザベンチャーは、経済産業局が今後大幅な伸びが見込まれるものの、未成熟である製造業用以外のロボット市場の育成が必要であると考えており、その市場を担う中小企業に対して、可能な範囲で何らかのバックアップを行なうという目論見から企画され今回はその一環として、各社が開発したロボットを世の中に広く紹介するために、「国際ロボット展」に中小・ベンチャー企業専用の出展スペース「RT交流プラザベンチャー」が設置される事になった。

四日間の開催の状況は以下の通りであるが当方のブースにも２０００名あまりの非常に多くの来場者が立ち寄った。このなかには大学のロボット関係者はもちろんだが個人のロボット研究者や趣味のロボット研究者、またロボットには関係のない産業だがいずれロボット関連産業につながりを持つことや自身でなんらかの事業を始めたいと考えている事業者も多く見られた。
また、当方はスタディアスの簡易版４足ロボットやその販売用の化粧箱を製作し会場に展示来場者の反応を探った。実際の販売はまだ先になるとしてももし販売が可能になった場合、どの程度の価格ならば買う気になるかという当方からの質問に対しやはり価格に関する質問が多く、廉価なスタディアスの販売の可能性とともに貸し出し向けのビジネスの発想も必要であると感じた。
国際ロボット展概要

★11月30日～12月3日国際ロボット展(日刊工業新聞)
日刊工業新聞社・日本ロボット工業会
◆出展規模(東2・3ホール)
出展者数
152社 40機関・団体
小間数
881小間
◆入場登録者数

日付	天候	人数(名)
11月30日(水)	晴れ	17，787
12月 1日(木)	晴れ	22，845

なお、松本工業フェアや国際ロボット展において市販検討調査用４足スタディアスロボットのモックを化粧箱と一緒に製作し展示した。若者の間で有名なアニメ「攻殻機動隊」のロボットの絵イメージを生かしこんなものを作ったら市場性があるのではないだろうかという提案である。

本プロジェクトとして万博に展示デモを行なうためのスタディアスや一足ロボットなどを製作したがいずれは販売可能なキットや完成品として販売ビジネスや貸し出しビジネスなどあるいは展示デモ請負など実施的なビジネスモデルを考えている。
写真はアニメの攻殻機動隊のイメージであるがほかにも市販用としてこんなものを作ったらいいのではないかというアイディアがいくつも出た。それをふまえて４足ロボットのモックと化粧箱を製作し松本工業フェアや国際ロボット展などの展示会や工業系イベントなどで展示し反応を探ってみた。

２００５年１２月～２００６年３月
ＡＴＲ研究所とのロボット開発の打ち合わせ風景（参考）

インダストリーネットワークをふくめ、本プロジェクトに参加することをきっかけにしてほかにも様々なものづくリプロジェクトをはじめることに成功している。
特にロボット関連のプロジェクトがいくつか始まっている。
写真は京都ＡＴＲ研究所や京都大学、神戸大学、諏訪理科大の研究者と諏訪の工業集積とで開発しているコミュニケーション型ロボットの開発プロジェクトの開発コンセプト会議を諏訪理科大市川研究室で学生の参加も実現しながら行なっているところである。
こういった機会を通じて大学などにものづくりの技術者や高い技術的知見を持つだけでなく、社会の必要とするニーズや要請に応えていくためのものや技術、プロセスやマネジメントを構想、牽引できる人材が生まれていくもとと考えられ、また期待もされている。

２月１７日１８日
岡谷ものづくりフェアでのスタディアスの展示とデモ風景

長野県岡谷市で毎年開催されている工業産業むけイベント「岡谷ものづくりフェア」にスタディアスのデモと展示を行なった。
「岡谷ものづくりフェア」は岡谷市を中心とする１００社あまりの精密工業に関係する企業が自社の技術や製品の展示を行い、また工業関連のいくつかの講演会も同時に開催された。
会場には３０００名あまりの来場があった。このなかには地元の小中学生、岡谷工業高等学校や諏訪理科大の学生らが参加、来場した。
今回のプロジェクトでは岡谷商工会議所が管理法人としてマネジメントしていることもありこのような新しい企画・目論見が地元で始まっていることがアピールできる良い機会となった。
会場には地元の市民や産業界の人々、また会場に出展している多くの地元企業の関係者に大学や研究機関との共同開発の成果やプロセスとしてこのような新たな取り組みが始まっていることを知っていただくことができた。

２００５年１２月～２００６年３月
京都大学ＰＣプロジェクト（参考）

ロボット開発に関係したプロジェクト以外にも本プロジェクトに参加することをきっかけとしてほかにも様々なものづくりプロジェクトが始まっている。
写真は京都大学喜多研究室松井研究室の学生と諏訪の工業集積とで開発している小型ＡＶパソコン開発プロジェクトの開発コンセプトの会議をインダストリーネットワーク社で行なっているところである。
こういった機会を通じて大学などにものづくりの技術者や高い技術的知見を持つだけでなく、社会の必要とするニーズや要請に応えていくためのものや技術、プロセスやマネジメントを構想、牽引できる人材が生まれていくもとと考えられ、また期待もされている。

４月２３日
「発明の日フェア２００６」（下記参照のこと）

関東経済産業局では、「発明の日」制定の趣旨を踏まえて、地方においても「発明の日」の周知を図ること、産業財産権制度への理解を深めていただくことを目的として、平成１１年度から「発明の日フェア」を開催している。

今回岡谷テクノプラザで開催された「発明の日フェア」では砂時計やオルゴール、子供向けロボットの製作体験プログラムや様々なロボットなどの展示が行なわれた。
このなかで本プロジェクトのスタディアスの展示デモンストレーションを行い、のべ３００人もの子ども、親、、学生などの見学を受け入れることができた。
ＮＨＫや地元ＣＡＴＶなどのテレビ放送ですでに何度も見たことがある、という意見も多数寄せられ、関心の高さを知ると同時に子どもたち自身のロボットに対する関心と興味の深まりを強く感じることができた。
また、今後も常設的な展示やデモの機会を持つことが子ども達や人材育成にむけて必要なものになるであろうことも実感できた。
以下主催者側からのお礼状

★「発明の日フェア２００６」
４月２３日（日）に開催しました「発明の日フェア２００６」（於：テクノプラザおかや）におきましては、関係各位の多大なるご協力を得、盛況のうちに無事終えることができました。
各教室の定員・見学者・保護者数等を合わせ、来場者１５００名と推定しています。朝一番の受付時には予想以上の早い人出に、多少の混乱を見ましたが、その後は手順も整い大きな事故なく実施できましたことは何よりでございます。
定員を超える申込みに抽選となり、お目当てのプログラムが受けられず涙するお子さんもいて可哀想なこともしましたが、他のプログラムに目を向けて、楽しんでいただけたのではないかと思っております。
「テクノプラザおかや」は平常では、子ども向けのイベントを行うところではないと思いますが、岡谷市内はもちろん県内各地からご来場のようで、「遠くから来た甲斐があったなぁ」と話す声も聞こえました。
今回のイベントで子どもたちに「ものづくり」の面白さ、「発明」や「工夫」への関心がわくきっかけに少しでもなれば、うれしい限りです。

新聞やテレビ放送などマスコミ報道について

以前より、諏訪地域においては企業間連携による付加価値の高い製品の開発を行なっていること、またそれらが新規産業の創生や人材の育成、などに結びついている、ということをテレビや新聞などマスコミを通じてアピールしてきている。特に東大などのロボット開発やＩＴ情報機器開発などを諏訪の中小企業との連携で行なっているなどということはＮＨＫの全国放送などで過去数度にわたり放送され注目をあびている。

今回テレビなどの放送においては全国放送でアピールすることはもとより今回は地元の長野県内や諏訪地域へのマスコミを通じたアピールが重要だと考えプロジェクト発信の当初から地元ＣＡＴＶ局へ取材要請を行なったり県内民放に番組取材の要請を行ない地元や県内への放送の機会を持つことに成功した。

製造業に産業基盤をおく長野県内や諏訪地域に向けた放送であればなおさらであるが今回のプロジェクトに関する放送も視聴率は高く、今回のプロジェクトについてなんらかの形で情報を知っている人や企業もたくさん居たことから地域の産業界にとっては多方面にわたるインパクトは高い。

また、万博の一週間前には地元ＣＡＴＶ局によるアミューズメント番組も企画されスタディアスの露出も多く、好評に放送された。

また、前後して県内に流れる民放でもニュース中に流れる特集内容でも扱われ後のデモ展示などの機会でもテレビで見たと指摘された。

万博中のＮＨＫの全国放送では非常に多くの視聴者によって見て強化学習の概要について多くの人々に理解をしてもらうことができた。

万博中でもテレビで見たという指摘が多かった。また後のデモなどの機会ではＮＨＫで見たすごいロボット、という指摘を受けることも多かった。

NBS長野放送ニュース特集
諏訪のCATV局LCV「LCVクイズ120分」
諏訪のCATV局LCV産業向け番組「産業スケルトン」
NHK「万博ロボット特集」

２００５年６月放送ＬＣＶクイズ120分問題（資料）

クイズ 120 分問題（強化学習型 6 足歩行ロボット）

こちらは、諏訪東京理科大学です。岡谷市に会社があるインダストリーネットワーク㈱の社長である大橋俊夫さんは、諏訪東京理科大学の市川研究室の学生、と21世紀型のロボット製作に打ち込んでいます。
平成 16 年度に国の「プロトタイプロボットプロジェクト」の事業に岡谷商工会議所が提案したこのロボット開発プロジェクトが採択されました。
このロボットの特徴は、ロボットの脚の動かし方をあらかじめプログラムしておくのではなく、初めは、様々な動きをロボット自身で試しながら試行錯誤し、一定の時間を経過すると、最適な歩行状態をロボット自らが学習することができるという特徴をもっています。
大橋さんは、このプロジェクトのリーダーとして、九州大学木村研究室、諏訪東京理科大学市川研究室、東京工業大学、京都大学、長野高専、そして地元企業との共同でロボットを製作しています。
実は、このロボット、諏訪のものづくりの技術を PR しようと、現在、愛知県で開催されている、「愛・地球博覧会」に来週の 9 日から 19 日まで展示されます。

大橋俊夫さんインタビュー（ロボットを愛知博に展示するまでの経緯について）

●問題　それでは、問題です。来週から愛・地球博で展示されるこの強化学習型6足歩行ロボットの名前は何でしょう？
①　ステータス　②モンスターズ　③スタディアス

また地元の新聞社を含め新聞報道も多く取り扱われた。
こられのなかには万博での展示に関するものだけではなくスタディアスロボットプロジェクトを産業活性化の取り組みの一環として捉え継続的な報道として行なわれたものも多い。

掲載紙
日経新聞
長野日報
市民新聞
信濃毎日新聞

4.愛･地球博でのデモ実証

６足歩行動作の学習では、モーターの自由度が 12 であるが、自由度が 12 のままとして学習すると､状態-行動空間が大き過ぎて学習できないため､自由度を 8 に落として学習した。状態入力は 6 本の足先センサと自由度 8 の関節の各角度で計 14 次元である。行動出力は自由度 8 の関節の目標角度である。学習アルゴリズムは、ランダムタイリングと Gibbs-sampling による新しい Q-learning を用いた。本学習は万博展示前に完了した。
４足歩行動作の学習では、6 足ロボットの中足 2 本が故障したとの想定で、4 足で歩行する動作の獲得を行ったが、6 足の場合と比べると静的歩行できないため学習が困難で、
6 足で用いた学習アルゴリズムでは万博展示前までに学習できなかった。
そこでロボットの強化学習では実績のある Actor-Critic 法を用いて、万博展示期間中にオンライン学習を行い、4～5 時間程度の学習により動作を獲得した。

展示では同じロボットを複数台用いてデモを行ったが、組み立て誤差などによってロボット毎に特性が異なってしまうため、個別に動作プログラムの調整が必要になるのが普通である。また、展示中に磨耗などによる特性の変化に対する対応も困難であるが、本ロボットは強化学習を行うので、自動的に調節が行われ適応していく。ただし、学習データは個別のロボットに準備しておく必要がある。

展示において長時間動作させると、モータの過熱により著しくトルクが低下し、強化学習による適用を超える度合いの変化がしばしば見られた。

完成したスタディアスは、自由度が同じにもかかわらず原型となった 4 足ロボットよりも学習が困難だった。これは、歩くためにボディを真上へ持ち上げると前進していないのに報酬が入るなど、報酬を与えるメカニズムに問題があったためと考えられる。

5.実証試験後のデータに基づく改良研究

(1) 報酬センサーの改善

前述したが報酬センサーは学習ロボットの地面に対しての歩行距離を読み取るセンサーである。センサー部はロータリーエンコーダーを用いる。

学習ロボットは上下左右に激しく揺れながら歩行を試みるが、その動きの中から正しく歩行できた事を的確に読み取らなくてはならない。特に学習初期は正しく歩行できるのは一瞬で距離もわずかである。

強化学習に必要な正しい報酬獲得の為の機構が求められる。

①従来方式の問題点

センサー部はロボットの上下の動きに追従出来るようにシャーシとヒンジで結合されておりこのヒンジを中心に回動出来る。

この構造による問題点はロボット本体が上下するだけで以下の 2 種類の間違った報酬を獲得してしまう事である。

1．ロボット本体が垂直に持ち上がっただけで A の移動距離を獲得してしまう。

2．同時に B の角度分センサーが回転し移動距離として獲得してしまう。

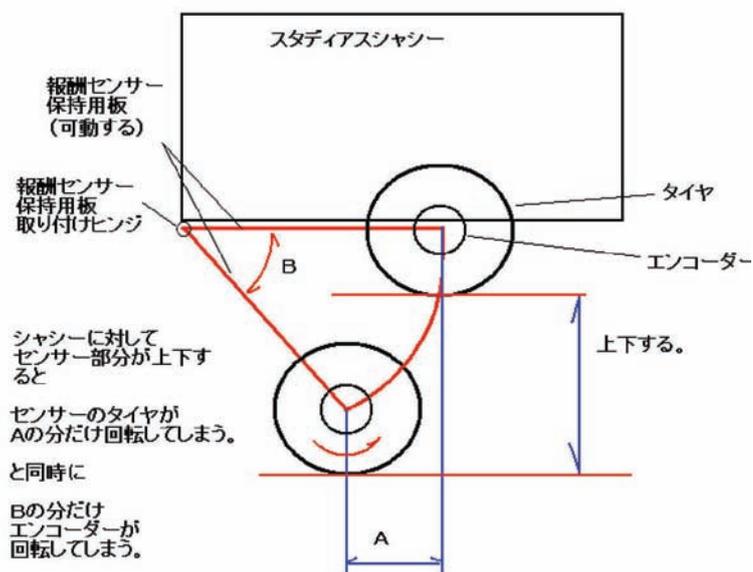



図 5-1-1 報酬センサー機構部の従来方式の原理

②対策方式

対策としてセンサー部の機構にスコットラッセル真正直動運動機構を取り入れた。この構造ではセンサーに取り付けたタイヤの位置がロボットシャーシに対して垂直に上下する為上記2種類の間違った報酬を得る事が無い。

構造は1端がセンサーもう1端がスライド構造になっているアームと
両端がヒンジでロボットシャーシと一方のアームに結合するアームとからなる。
コンパクトな構造になる為　改良前とほぼ同じ位置にセンサー機構を配置することが出来た。

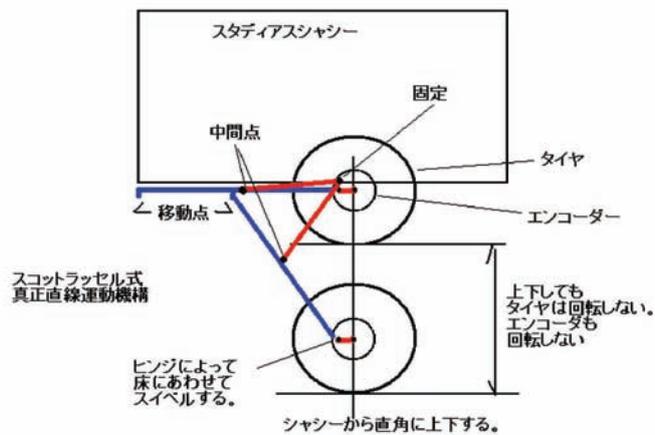



図 5-1-2 報酬センサー機構部の改良案（スコットラッセル）の原理

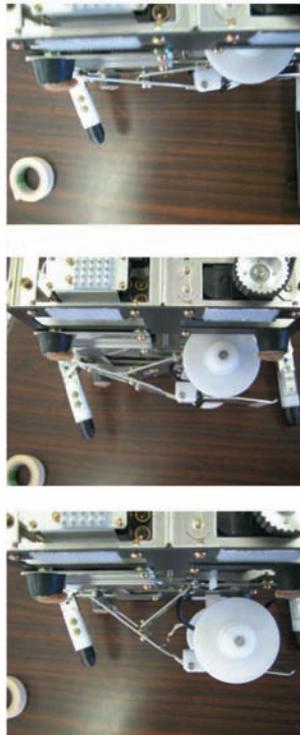



図 5-1-3 スコットラッセル機構の実際の動き

製作した物でも理論通りセンサーの位置がシャーシに対して垂直に動いている事が確認できた。

(2) 熱対策品の開発

①従来の問題点

強化学習による制御規則を学ぶ為には長時間の駆動が必要になる。

しかし学習ロボットを長時間動かしているとモーターが発熱し当初のパワーが発揮出来なくなり学習を中断せざるを得なくなる事が分かった。

デモを行なっていても休ませながらの運用をせざるを得なかった。

②対策方法

モーターの発熱の対策としてモーターのヒートシンクとトルクキャンセラーの2点を検討実施することとした。

a.モーターのヒートシンク

ロボットに使用しているモーターはラジコン様のサーボモーターでモーター本体は樹脂ケースにパッケージされている。このためモーターの出す熱は外部に放熱しにくくパッケージ内にこもってしまう。

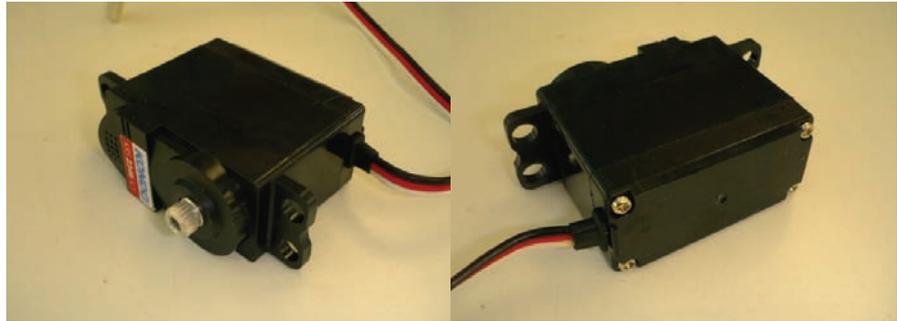



図 5-2-1 サーボモーター外観

幸いパッケージがネジ止めで封印されている為フタの部分をはずしフタの代わりにヒートシンクを設ける構造とした。

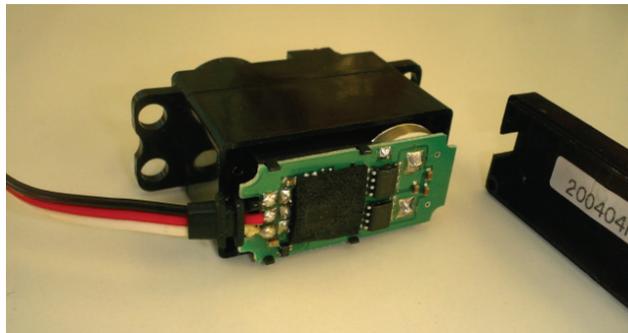



図 5-2-2 サーボモーターのフタをあけた状態

詳細設計

放熱部の形状を2種類検討、試作を行なった。

図5-2-3 板金タイプのヒートシンク

放熱部に板金をフィン状に曲げた部品を用いた。
コスト重視のヒートシンク

図5-2-4 剣山タイプのヒートシンク

放熱部にアルミの剣山状に加工した部品を用いた
放熱性を重視したヒートシンク

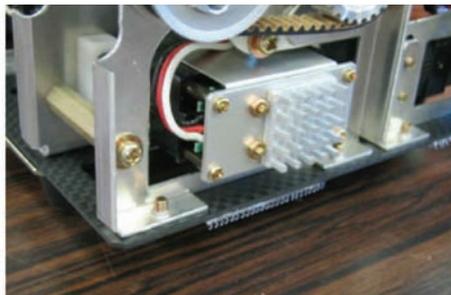
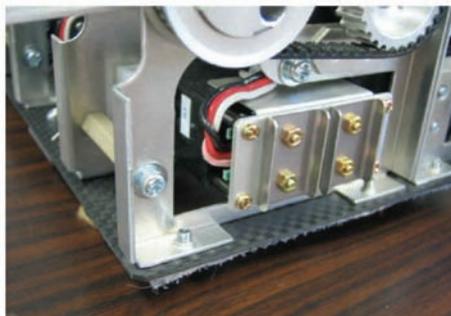



図5-2-5 各ヒートシンクの取付状態

各ヒートシンクの取付状態

b.トルクキャンセラー

モーターの発熱を抑える為　アームに掛かるロボット本体の重量をバネの力で低減する事を検討した。

現状のロボットに対して出来るだけ変更を入れずにキャンセラーを取り付けられる事を重視し以下の３種類を検討、試作を行なった。

図 5-2-6 トルクキャンセラー無し

何も取り付けられていない状態

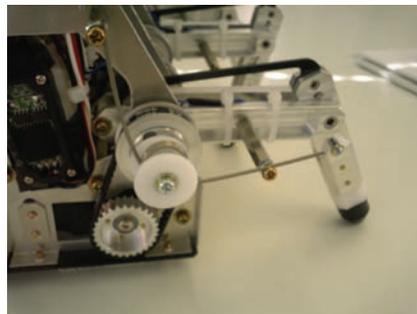



図 5-2-7 トルクキャンセラー　アームタイプ

１．アームタイプ

ベルトプーリーの中心穴にネジリコイルバネを取り付ける。バネの片端はアームにあるネジを六角シャフトに変更しそこへ引っ掛けとし、もう片端はシャシ側のネジを同様に変更し引っ掛け部とした。

3 案の中で最もシンプルな構造。

図 5-2-8 トルクキャンセラー　ﾌﾟｰﾘｰ取付タイプ

２．ﾌﾟｰﾘｰ取り付けタイプ

ベルトﾌﾟｰﾘｰに取り付けるタイプ。

ベルトﾌﾟｰﾘｰを追加工しバネの引っ掛け部を設けたフランジを取り付ける。

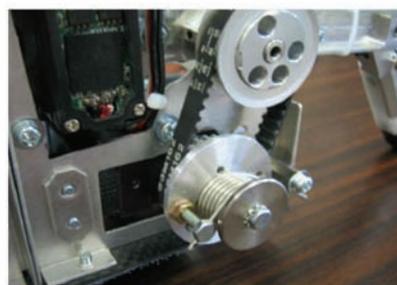



図 5-2-9 トルクキャンセラー　モーター直結タイプ

３．モーター直結タイプ

モーターに直結しているベルト歯車に取り付けるタイプ。

バネの引っ掛け部を設けた軸をモーター軸にネジ止めし取り付ける。

２と３のタイプはバネの引っ掛け位置を約 90 度の範囲で動かす事が出来キャンセラーのトルクを変更出来る。

3 つのﾀｲﾌﾟは機能の面ではほぼ同じであるがｺｽﾄや見栄えの面で違いがある。

③熱対策品の効果の検証

熱対策前は長時間の強化学習によりモータの過熱によるトルクの低下がみられる。これによってトルクが低下してしまった状態での歩行規則を学んでしまう。これだとスタディアスのシャシーが床に着いた状態での歩行規則を学習することになる。
トルクキャンセラーとヒートシンクの製作と装着によりサーボモータのトルク低下を防ぐことができたことでシャシーを床面から持ち上げながら歩くこれまでとは異なる歩行規則を新たに学ぶことができた。
また、この際、シャシーの下部に装着してある歩行規則を学ぶ際に報酬を獲得するための報酬センサーがこれまでのものだと上下運動をした際にそれだけでマイナスの報酬を獲得してしまったが今回報酬センサーの取り付け部分を改造したことにより正確な報酬を得ることができることが可能になりシャシーが上下運動をしても正確に前後の移動距離を計測し報酬を得ることが可能になった。
これによりスタディアスがモータのトルク低下をふせぐことでより大きな上下運動などが行なえるようになっても歩行形態の獲得に正しく反映することができる。

トルクキャンセラーとヒートシンクの効果の検証実験結果を添付資料(１)に示す。

6.プロジェクト全体のマネジメントに対する問題提起と将来構想について

工業集積のポテンシャル

本プロジェクトの特色は強化学習を行うロボットという具体的なロボットの構成のほかに、その試作プロセスとして、わが国の製造業の特色の一つである工業集積を形成する中小企業集団と大学とが共同するという点にある。以下では、後者の特徴に着目して問題提起と将来構想について考えたい。

多数の中小企業が地域に集積し，地域内で総合的な生産を可能にしている工業集積は日本の製造業の特徴であり，生産技術のデジタル化やブロードバンド通信の普及とあいまって高度な製品の小ロット，短納期生産を可能にしている．このような工業集積がその強みを活かせる領域の一つは研究開発用の試作分野であり，研究開発を推進する側のものづくりニーズを工業集積側の素材，設計，加工，組立て，検査などの厚みのあるシーズをもって実現することにより高レベルの研究試作の効果的な実現が期待される．

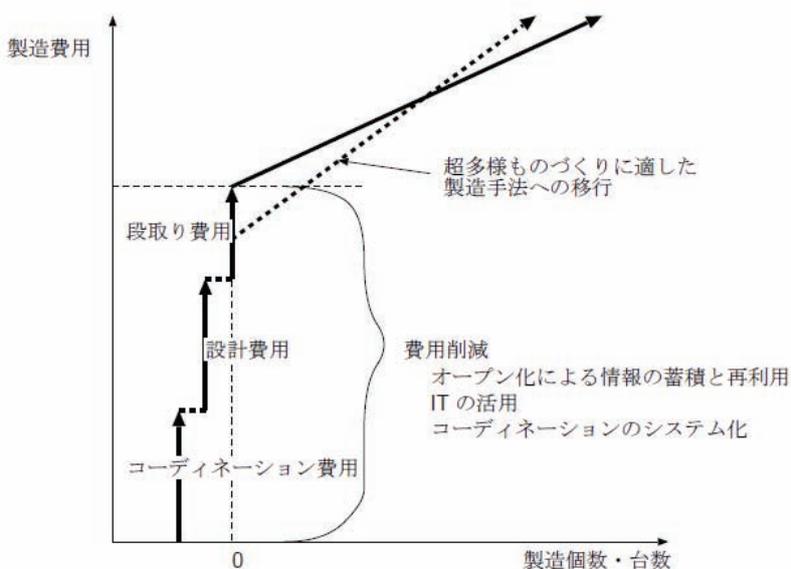
研究開発用の試作は従来ではもっぱら大企業を研究開発の主体とする形で実施されてきた。その場合、試作ノウハウなどは企業内で，場合によっては個々の研究開発チームで閉じられていることも多い．近年,「産学連携」への注目の高まりが示すように，研究開発の主体としての大学への期待は大きい（西村 : 産学連携―「中央研究所の時代」を越えて,日経 BP (2003)）．しかしながら，大学における研究開発のレベルそのものを向上させるには，より高品質な試作を可能にしてゆく受け皿の整備が求められる（喜多：大学と工業集積―研究試作のための協力と課題―，組織科学，Vol. 36, No. 2, pp. 28-37 (2002)）．また、大学のみならず、公的研究機関や研究開発を主な業務とする企業など、これまで最終製品までの開発・製造プラットフォームを有しない組織の研究開発における社会とのつながりを強くするためにも同様の基盤が必要である。

とりわけロボットに代表されるメカトロニクス型の研究試作では機構，筐体，センサ，アクチュエータ，電源，エレクトロニクス，ソフトウェアなど機械系，電子系，情報系，意匠などの総合力が要求され，工業集積のシーズをフルに活用することで高レベルの試作が期待できる．特にロボットはインテリジェントな機械システムとしてわが国でさかんに研究されている領域であるが、重量、強度、駆動力、意匠などのトレードオフが厳しい製品であり、材料、加工、設計の多面的なシーズを踏まえ、モジュール化された素材・パーツを効果的に利用しつつ、設計面での擦り合わせを行う必要がある点で、工業集積の企業ネットワークを試作のためのオープンなプラットフォームとして活用し、多様な試作ニーズを高品質で実現することが望まれる。

超多様性生産構想

わが国の製造業はアジア諸国との厳しいコスト競争に直面しており、新しい製造業の方向性が模索されている。その一つとして、わが国の製造業の特徴である多数・多様な中小企業が特定の地域に集中して活動し，総合的なものづくりの基盤を形成している工業集積のメリットを活かし，エンドユーザの持つ個々の多様なニーズに応えてゆく「超多様性生産」という構想が大橋や出口によって提唱されている（大橋：新たな産業の創生と価値創造のために，組織科学，Vol. 36, No. 2, pp. 15-27 (2002)、出口：工業集積上でのオープンものづくり―繰返し単品受注生産システムによる産業構造の創成―，組織科学，Vol. 36, No. 2, pp. 38-53 (2002)）. 実際、シーズ側は製造技術の自動化やブロードバンドの活用などにより多品種、少量、短納期生産をかなりのレベルで実現している。一方、ニーズ側としても研究開発の個別的で高度な要求を実現する研究試作、エンドユーザの嗜好が重視されるホビー領域、医療や福祉といった個々人への高度な対応が求められる領域など高付加価値、高公共性の領域がその対象と考えられる。従来は実現手段とコストの点で非現実的と考えられてきたものでも、今後のイノベーションにより超多様性生産は十分、射程に入るものと考えられる。

超多様性生産の費用構造

大学での研究用ロボットの試作経験などを踏まえて喜多は超多様性生産の費用構造を次図のように分析している（喜多：大学と工業集積―研究試作のための協力と課題―，組織科学，Vol. 36, No. 2, pp. 28-37 (2002)）.

すなわち生産までに要する費用は

1. プロジェクトのコーディネーション費用
2. 設計費用

3.　製造段取り費用

4.　部材や加工などの費用

に分類できる．ごく小数（極端な場合には 1 つ）だけ製造する超多様性生産では，このうち 1., 2. をいかに圧縮するかが重要であり，また 4. については若干割高であっても 2., 3. の面での負担の低い製造テクノロジーを選択することが求められる．

情報技術の高度利用

超多様性生産を可能にする一つの鍵は情報通信技術(ICT)の積極的な活用である．従来の生産現場でも多品種少量化，短納期化への対応は ICT に支えられて実現されている．すなわち工場内のみならず顧客との間をもネットワークで結び CAD と NC 工作機械や計測器などを結合することで多品種，少量，短納期生産を実現しているのである．また、光造形などのラピッドプロトタイピング技術など小ロットの生産に適した技術の進展も速い。もちろん，これらの技術は超多様性生産においても極めて重要であるが，それとともに重要になるのが, 先に述べたコーディネーションコストや設計コストの圧縮である. ここでも ICT は鍵の技術である．すなわち使い手と作り手の情報をネットワーク上に集積し，効果的にコーディネーションを進め，ネットワークを利用したコラボレーションにより時間と距離の制約を克服してものづくりを進めることが重要である．以下にまず本プロジェクトをＩＣＴの活用事例として振り返り、さらに今後の展望を検討する。

本プロジェクトの支援環境

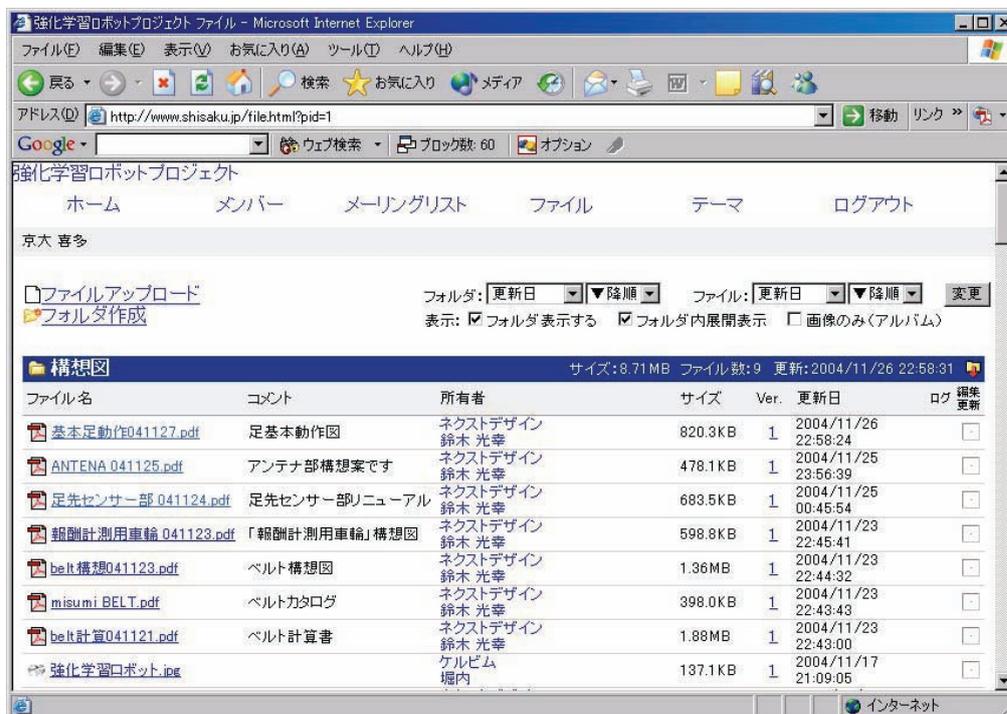
ネットワークツールの活用

具体的なものづくりのプロジェクトの推進にあたっては，一方で，消費者の表面的な嗜好や欲しいものを，他方で，ものづくりの技術レベル，コスト，可能性などを総合的に捉えた情報の掘り下げや編集が必要である．さらに企業間，個人や大学とのネットワークを構築していく上で信頼関係の醸成なども必要になる．そういう点では，プロデューサー，コンセプトクリエーター，クリエイティブディレクター，コーディネータ，カタリストなどの名称で語られる役割を果たす個人や企業が必要である．

またプロジェクトにおいて，中小企業や個別領域の研究者ではなかなかプロジェクト全体をマネジメントできない．この場合，プロジェクトマネジメントができるテクニカルアシスタンスバックオフィスや，その他の機能をプロジェクト内部に持たせるか，外部の資源から引っ張ってこれるネットワークと力を持っている個人や企業が必要となる．また，情報技術等が地域製造業のインフラとして機能することが重要であり誰もが安心・安定して利用できるネットワーク環境，個人や企業間にリテラシーの差があってもそれを乗り越えてプロジェクトに使える「うまいシステム」が必要である．

さらに実際にプロジェクトを進めていく場面では，企業間にまたがって機能するコラボレ

ーションウェアやグループウェアが必要である．そこではメンバーがさまざまな所で多様な活動する状況での利用に配慮したツールであることが求められる．

これらのことを踏まえて，本プロジェクトではインダストリーネットワーク社が提供するプロジェクト用のネットワークツール「グープ」を利用した．利用の一例を下図に示す．

グープでは

- push/flow 型メディアである電子メール/メーリングリストと，
- pull/stock 型メディアである web/メールアーカイブ

を連携させている．Push/Pull, Flow/Stock という情報の動きを適切なモードで支援することは、特に多様なサイトに広がる参加者が種々の側面で関わるネットワーク型の試作プロジェクトを支援するためには重要である。

ここで Web が果たす機能はプロジェクトメンバーについての情報提供やその追加とファイル共有である．ものづくりプロジェクトでは文書，図面，写真などさまざまな形式の情報が各メンバーからさまざまな目的で提出される．ファイル共有では何時，誰が，何の目的でその情報を提供したかという情報が適切な形で編集されて提供されることが必要であり，グープにはそのための機能を持たせている．

IP ビデオ会議の活用

Web やメールを用いてプロジェクトの管理運営をインターネットを介して行うことは，地理的な距離のあるメンバーでのプロジェクトの管理効率を画期的に高めてくれる．しかしながらゼロからプロジェクトを発足した場合を考えても，すべて最初から web やメールだ

けを利用すると言うことはまずありえない. なぜならば web やメールは情報の共有といったある種「事務的なコミュニケーション」には便利なツールではあるが，互いの信頼関係を築くといった「初歩段階的な関係形成」が望めないからである．一方，フェイスツーフェイスのコミュニケーションは重要であるが，常に顔をつき合わせてプロジェクトを進行させることは物理的にも不可能であるし非効率である．経験上，プロジェクト進行も「一度つながってしまえば問題ない」という点が多く，プロジェクトの発足段階等で要所で必要に応じて顔合わせを行うことで信頼関係が出来ればそれで良いし，それでも問題は少ない.

こうした中で本プロジェクトではメーリングリストのほかに適宜，インターネットを介したテレビ会議を利用した．プロジェクトを効率よく進展させるためにも，テレビ会議は重要な役割を果たすことが多くなってきた．物理的な距離を越えて対面で話すことが出来るので時間の短縮になるだけでなく，対面するメンバーが初めて会話するメンバーであっても，実際に顔をあわせているのとそう変わらない形式で対話できるので文脈の共有がスムースに行えるからである．今後数年間のうちにテレビ会議はビジネスの中心的なファクターになりつつあると予想できる．既に大手企業ではテレビ会議がいろいろな場面で使われているようであるが，導入費用が急速に下がっていることもあり，中小企業でも今後積極的な導入が効力を発揮する日も近いと思える．また、ものづくりプロジェクトにおいては試作品の提示など、映像が果たす役割は大きく他のメディアでは代替しにくい効果がある。

我々がテレビ会議に利用した回線はブロードバンドではあるが，インターネットであるためネットワークの混雑などの影響も受けやすいし，画像は解像度，フレーム数などの点で問題も少なくない．しかしながら，それでもなお，このツールは有用である．利用の経験から以下のようなノウハウも蓄積されてきた：

- 多地点接続サーバは若干，高価な機材ではあるが極めて効果的なツールとなる.
- インターネットを介した接続は必ずしも安定ではない．利用バンド幅の低減や代替手段の準備など，うまく行かない場合を想定しておくことが重要である．そのための電話連絡の体制も必要である. また, 画像の品質はかなり下げてもあまり支障はないが, 音声については十分な質を確保すべきである.
- 伝送状況を常に相互に確認する癖をつける．例えば大きくうなづく，という程度でもよいし．伝わらなかったことを即座に確認することも重要である.
- ビデオ会議の画像は細かな図などを伝送するには適さない．WWW や電子メール，FAX などを実時間で併用しながら会議を進める必要がある. 重要な点は誰もが使えるシンプルだがメディアとしての特性の異なる手段を効果的に組合わせることである.
- 通常の会議でも同じであるが，どのようなことが話し合われ，何が決定され，誰がどのような事項を担当することになったのかの議事メモをできるだけパソコンで実時間で作成し，即座に確認するとともに，電子メールなどで共有する必要がある．このような能力を訓練して身に付けておく必要がある.

今後の展望と課題

プロジェクト支援ツールの充実

プロジェクトの効果的な支援のためにはプロジェクトが遂行される過程で生まれる様々な暗黙知を効果的に形式知に変換するとともに，プロジェクトで生み出される多様かつ大量の情報を分かりやすく周囲に伝えて行くことが求められる．

プロジェクトマネジメントについてはそれ自体，方法論の整備も進んでいる（小原：P2M 入門，エイチアンドアイ（2002））．このような意味でプロジェクトのマネジメントを支援するための情報ツールの整備も必要であるが，それと同時に，数多くのプロジェクトのデータから全体を俯瞰し，そられが創出する価値を伝えて行くとともに，「ものづくり」プロジェクトのための固有の「作法」などを見える形にする情報技術が求められている．

興味深い例として，建築家コールハースのチームでは，プロジェクトチームをまとめてゆくために，プロジェクトごとにそのプロジェクトに関するブックレットを編集している（瀧口：行動主義，レム コールハースドキュメント，TOTO 出版（2004））．これを常に手にとって参照することがプロジェクトの求心力となるとともに，他への説明力ともなっているのではないかと推察される．この事例の興味深い点は，「ブックレット＝印刷物」という参照しやすい形態を取っていることである．情報ツールというと，ややもすれば web などコンピュータ上のものを想定しがちであるが，紙など他のメディアを排除する必要はない．

設計の再利用

設計コストの低減のためには，当然のことながら設計の再利用が有効である．そこではオープンソースソフトウェアのように設計情報をできるだけオープンなものとすることが望まれる．しかしながら，初期の費用を投じたもの，実際に設計を創出したものの寄与をどう扱うかという問題は解決しなければならない．昨今，米国のプロパテント政策などから知的財産権への意識が急速に高まっているが，情報は使ってこそ価値が創出される．私有権でがんじがらめにされて情報を塩漬けにしない工夫が求められている．

また，単に設計をオープンにするだけでは設計情報はなかなか使えない．これはソフトウェアでもしばしば語られることである．初期設計時に再利用性を意識してモジュール性の高い設計とすることや，再利用時に必要な情報，例えば設計結果だけではなく，なぜそのような設計としたのか，何を目的として設計したのか，設計時の想定や限界は何かなど設計の意図や代替案の中での意思決定情報をも効果的に蓄積，再利用することが求められよう．

CAD 中心の生産システム

ものづくりにおいては設計されたものを実際に製作し，検査したうえで利用者の利用に供しなければならない．この設計以降のプロセスを詳細に検討し，設計時の情報からできるだけ人手を介する事なく製品を利用者の利用に供することが求められる．そのためにはCAD を中心として，設計時にデジタル化された情報から可能な限り製造プロセスを駆動することが求められる．これは，単に自動機械を駆動するデータを生成するだけではなく，人手を介する作業や，外部にアウトソーシングする場合の仕様書，手順書，利用者へのマニュアルなどの文書（形式的に要求されない場合は実際には文書という形態をとらず，ビデオなど製作負荷の低いメディアも検討すべきである.）の自動作成までを視野に入れる必要がある．

また，このような下流の情報統合されたプロセスを含めて，一定のモジュール化された機能について，下流で効果的に実現可能な製造を織り込んだ CAD ソフトなどを準備した，カスタムメイドの製造ビジネスとして展開してゆくことも求められよう。電子回路では専用 CAD を配布して回路設計から部品の実装された基板までを作成するサービスなどがこれに相当する．最近の DIY 店では大きな木材の裁断サービスが見受けられるが，これがCAD 化されていれば，日曜大工において自宅のパソコンでの設計から一貫した部材の調達を支援できる．

「Web 2.0」と総称される対話性の高いネットワーク利用技術が急速に進展しつつある。これらの技術が持つ可能性を踏まえ、現状のものづくりプロジェクトの隘路を打破してゆくための研究開発を積み上げてゆくことが大きなブレークスルーにつながると期待される。

（２）目標に照らした達成状況

今回の目標に照らしたプロジェクトの達成状況については以下のように捉えている。

①. 市場化を目指した強化学習型6脚歩行ロボットの研究開発製作
・販売やビジネスが可能になるレベルの「強化学習アルゴリズム」と「機能するロボット」を開発し製作製造する。
・強化学習アルゴリズムの開発そのものを今後より高度化し更に開発を加速するために研究プラットフォームやデバイス、アーキテクチャーを調査・開発・製作する。
・当面以下　二点の開発テーマの可能性を調査研究し見極め、実現を目指す。
　　１、研究開発および教育用プラットフォームロボットとしての可能性
　　２、マーケット向けアミューズメント用ロボットとしての可能性
・今回の万博への展示等の事業を進めるなかで上記２点を含め市場化の可能性をも調査検討する。

本プロジェクトによって強化学習ロボットの開発製作とアルゴリズムの改良を行なうことができた。
６足歩行のロボット「スタディアス」を８台、またこれ以外にも初期の試作開発に供したロボットを利用することによって１足歩行のロボットを１台などいくつかのロボットを製作することができた。

スタディアスは６足歩行ロボットであるが実はその足ひとつひとつが独立したモジュールとして設計されている。この単独のモジュールを組みあわせれば４足歩行であるとか変形の歩行規則の可能なロボットであるとか、あるいは１足歩行のロボットであるとかが製作可能にはなっている。

また、これらのロボットはロボットの本体の筐体以外にも強化学習アルゴリズムを実装したパソコンや外部電源、駆動用の標準的な部品などを必要とするがそれらを含め８台すべてのロボットを一台一台のパッケージとして開発し運送用、配送用のコンテナ箱につめて遠方にも送ることを可能とした。

強化学習ロボットを運用し強化学習のアルゴリズムや概要を展示やデモンストレーションなどで説明するため教育用機材や産業むけイベントでの説明用機材として利用できるように取り扱い説明書などを製作し、また、特に教育用機材としては、開発に携わったメンバーが遠方の機会に説明やデモに行かなくても取り扱い説明書もしくは簡単な説明で依頼者側で説明やデモが行なえるようにした。

すでに県内の産業界のイベント実行者や遠隔の自治体などからロボットの展示やデモをしてほしいなどの依頼が来ているが、現在のところ、保険などの問題や修理などいくつかの解決すべき課題が多いためロボットのみを輸送し先方に運営や使用を任せるというレベルでの運用は行なっていない。が、開発者自身が説明にいけるような比較的近い場所での説明の機会はすでに２００５年度中には複数回にわたりでかけて行き、デモや展示などを行なってきた。

強化学習アルゴリズムなどをわかりやすく説明した展示説明パネルなどもロボットとの一連のパッケージとして作成したため外部から要請があればそれを簡単に車に搭載し依頼場所に持ち込めるようにしてある。

研究開発用プラットフォームとしても依頼のあった大学や研究機関に送付、または持ち込み説明ができるようになっている。
すでに長野県内を中心にして長野工科短大、松本工業高等学校や諏訪東京理科大などでデモ及び説明を複数回行なっている。

開発用のプラットフォームとしての提供であるがこれもパッケージとして送付すれば可能な状態になっている。
アルゴリズムそのものの公開もウェブ等で行なっており理解を持つ研究者であれば必要に応じてこちらから送付した研究プラットフォームを利用して研究や実証もできる体制は整えつつある。
しかし、これも保険や修理や高度な研究の場合の問題、知的財産の保全の問題などからまだ解決すべき課題は多い。これらは今後の課題である。

アミューズメント用の分野においては主に販売の観点からみた場合の強化学習ロボットであるが、これは研究用プラットフォームとしてのレンタルや貸し出しといった一連の作業やあるいはそれがビジネスになるとしても（後述）それよりはむしろアミューズメント用のほうがビジネス化の可能性があると思われる。
あるいは研究用のデモや実証の機会をアミューズメントの機会として一緒に捉えることによってそのチャンスも生まれるものと思われた。

しかし今回開発したロボットは万博の長時間にわたるデモ実証に応えるためオーバースペックで製作したと言える。筐体なども非常に贅沢に作られておりこれをそのままアミューズメント用として貸し出しなどには使えるとしても販売には使うことはできない。
もっと安価なロボット、簡単なロボットを製作すればこれは可能であると思われる。

今後はウェブなどを利用しこのうえでアルゴリズムの研究進化が研究者だけでなく学生や高校生や「おたく」などを巻き込んだかたちで進行できれば良いと考えられる。これは可

能であろう。
そのためにも安価で購入でき自分で様々な研究が可能になるタイプの簡単なロボットを製作し販売、もしくは貸し出しができウェブ上で進化が行なわれるかたちをとりたい。

最近は東京を中心として若い人たちや学生らによるロボットやラジコン、プラモデル、フィギュアなど趣味のイベントが盛んになりつつある。こうしたイベントにうまく持ち込むことでスタディアスのあらたな可能性も広がっていくものと考えている。

②. 産業創生や研究開発プロセスへの貢献
・諏訪地域における産業創出、ビジネス創出にむけての機会とすることで
地域のなかからロボット開発や強化学習アルゴリズムの技術者や起業家、あるいは関連ビジネスを創出する。

今回のプロジェクトは複数の大学や研究者、諏訪地域の産業界を広く巻き込むかたちで行なわれた。
これはこれまでも両者ともその内部ではあまりなされなかったことである。

しかし、本プロジェクトにおいては強化学習ロボットの技術開発を高めすばやく行なっていくためにもこの方法をとった。また、このプロセスそのものがそれぞれの知見を高めたり技術を高度化する汎用的な方法論として今後産業界においても重視されるものと考えており今回のプロジェクトの成果を広く産業界にむけて
告知・発信していく予定である。

スタディアスロボットの開発製作は短時間の間に何回かの試作を繰り返し、最終的に８台ものロボットを製作すると同時にこれを様々な発表やデモ、展示などの機会に持ち込むことで広くアピールすることができたのはもちろんであるし関わった学生らにもその機会への参加が広く与えられたと考える。

また、地元産業界、中小企業の経営者にとっても本プロジェクトへの参加によって大学や研究者、学生らとの連携の機会、交流の機会なども持つことができた。

なにより今回このような方法をとったことで諏訪地域における産業創出、ビジネス創出にむけての機会が生まれたことは特筆すべきことであると考えている。

今回このような方法をもつことによって今回のプロジェクトには大学や研究者以外にもた

くさんの中小零細企業が製作や開発の部分で関わりを持つことができた。

中小零細企業がプロジェクトに加わり参加を促すためにとった方法は以下のようになっている。

本プロジェクトの地元産業界への公開、説明、

本プロジェクトへの製造業者としての多様な協力体制を募る。

短期日に良いものを製作することを理解していただく。

なにより先端的なロボット開発に通常の産業界として携わった、ということを認識してもらう

万博に展示したスタディアスのポスターと協力に対する賞状を作り協力者に配布した。

今回のプロジェクトの参加を機会に他のグループや研究機関・大学研究者からロボット開発のプロジェクトが諏訪地域に持ち込まれている。
部品製作に限らず開発試作・設計や機能設計まで携わっている。
多くの中小企業はこれまでのように中小企業は言われたものを作るだけではだめであると考えており、できれば試作製作や開発設計、マネジメントまで今後はやっていかなければならないと考えている。今回のプロジェクトへの参加はその契機となすための良い機会となっている。

諏訪東京理科大市川研究室の多くの学生がスタディアスの試作開発や万博のデモや展示に携わった。
また、万博以降には県内を中心とする産業系のイベントやデモや展示などを精力的にこなしここに関わったことから新たなビジネスモデルが学生や企業間で構想されている。

強化学習ロボットのみならず全国で研究開発が進む様々なロボットもデモンストレーションやアピールが不足していることを痛感した。これはロボット開発に限らず産学で進む
様々な研究開発における基本的な問題点でもある。
ロボットに限らず大学や研究機関はその重要性が内向きになっておりそとにアピールすることがなされていない。
こうした状況を学生や企業自らがデモや展示などを行なうなかで痛感しプロジェクトの参加企業の中にはこれを新たなビジネスチャンスとして捉えデモンストレーションの請負業務を始める動きなどがある。また開発業務を事業の柱にすえ動きだした企業もある。
そのようなわけで有力な事業テーマとしては大学や研究機関の開発テーマへの試作協力である。
特に最近は各大学や研究機関でロボット開発を進めている分野は多いが一方、それらが必要とする金属加工やものづくりの分野では大学や研究機関が能力不足のところが多い。
それを産業集積の側から手伝うこと自身をビジネスモデルとしていこうというものである。
③強化学習ロボットの研究内容と諏訪地域の技術や企業の内外へのアピール

・強化学習の理解とその有効性・可能性を研究開発のプロセスと愛知万博への展示・デモンストレーションを成功させせることによって広く内外にアピールする。
・先進的なロボット開発にかかわることで諏訪の産業集積地域としての高度なポテンシャルを内外にアピールする。

強化学習ロボットアルゴリズムの優位性と将来性、可能性を広くアピールするための愛知万博への展示・デモンストレーションは当然ながら新聞やテレビなどマスコミに広くアピールする機会をもつこととなった。
また、東京など大都市圏や地元長野県で行なわれる産業界むけ・工業むけの展示会に積極的に参加し展示デモを行なった。

強化学習ロボットアルゴリズムの優位性と将来性、可能性をアピールすることは当然であるが、大学の先端的開発の状況やそれを開発した諏訪地域とそれらが連携して開発を進めるプロセスそのものが産業の活性化を目指す産業分野や集積地にとっても広く汎用性のあるやり方でもあろうことが確認できた。
またこの成果をロボットプロジェクトのアピールと重ねながら全国にアピールすることによって諏訪地域のア産業集積としてのポテンシャルのアピールにもつながっていくことはもちろんである。

以前より、諏訪地域においては企業間連携による付加価値の高い製品の開発を行なっていること、またそれらが新規産業の創生や人材の育成、などに結びついている、ということをテレビや新聞などマスコミを通じてアピールしてきている。特に東大などのロボット開発やＩＴ情報機器開発などを諏訪の中小企業との連携で行なっているなどということはＮＨＫの全国放送などで過去数度にわたり放送され注目をあびている。

今回テレビなどの放送においては全国放送でアピールすることはもとより今回は地元の長野県内や諏訪地域へのマスコミを通じたアピールが重要だと考えプロジェクト発信の当初から地元ＣＡＴＶ局へ取材要請を行なったり県内民放に番組取材の要請を行ない地元や県内への放送の機会を持つことに成功した。
製造業に産業基盤をおく長野県内や諏訪地域に向けた放送であればなおさらであるが今回のプロジェクトに関する放送も視聴率は高く、今回のプロジェクトについてなんらかの形で情報を知っている人や企業もたくさん居たことから地域の産業界にとっては多方面にわたるインパクトは高い。
また、万博の一週間前には地元ＣＡＴＶ局によるアミューズメント番組も企画されスタディアスの露出も多く、好評に放送された。

また、前後して県内に流れる民放でもニュース中に流れる特集内容でも扱われ後のデモ展示などの機会でもテレビで見たと指摘された。
万博中のＮＨＫの全国放送では非常に多くの視聴者によって見て強化学習の概要について多くの人々に理解をしてもらうことができた。
万博中でもテレビで見たという指摘が多かった。また後のデモなどの機会ではＮＨＫで見たすごいロボット、という指摘を受けることも多かった。

地元ＣＡＴＶ局では以前よりプロジェクトメンバーの企画によるものづくり向けの番組を５年ほど前より企画放送しておりこの番組の特別番組としても強化学習ロボットを扱うこととし計画の初期の段階から取材を行なった。
地元諏訪地域においてはＣＡＴＶの加入率は他地域にくらべ圧倒的に高く（９０％）ここでの放送はＮＨＫなどの放送にくらべ当事者意識や問題意識は圧倒的に高い。

★おわりに

この報告では大学と工業集積とが協力して進める研 究試作の事例として強化学習ロボットの試作プロジェクトについて報告した．
今後，本プロジェクトの成果を強化学習研究の推進に役立てるととも に，本プロジェクトの知見を今後の研究試作の効果的な実施に活用しまた、諏訪地域における強化学習ロボットとアルゴリズムの産業化やビジネス化を目指していきたい。

(2-1) 実施日程

事業項目	16年度				17年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
① 強化学習アルゴリズムの開発								
・万博前、また万博後、強化学習アルゴリズムの検証、改良								
②筐体・メカなどを開発製作								
・基礎となるプロトタイプの設計開発製作と評価・基礎プロトタイプ製作								
・機能仕様の決定								
・量産プロトタイプ製作・評価								
・量産ロボット製作								
・万博前、また万博後、メカ筐体の検証、改良								
③プロジェクトの成果普のための調査、委員会等開催								
・調査、委員会の開催								
・教育用教材、普及策の調査								
・強化学習ロボット普及などにむけた調査								
④愛・地球博でのデモ実証								
・万博における実証検証・確認								
⑤ 実証試験後のデータに基づく改良研究								

(2-2)　研究体制

（1）研究体制

【連名契約】

インダストリーネットワーク㈱

（ロボットのメカや筐体の設計・製作）

岡谷商工会議所

（本プロジェクトの管理、成果普及のための調査、委員会等開催）

委託先等名	岡谷商工会議所		
業務管理者	専務理事　井出　皓基		
経理責任者	課長　　　杉本　晋太郎		
研究実施場所及び登録研究員	岡谷商工会議所 〒394－0021　　長野県岡谷市郷田1－4－11 （最寄り駅：中央本線　岡谷駅　）		
	氏　名	所属・役職	主な担当事業内容
	井出　皓基 杉本　晋太郎	専務理事 課長	研究会、委員会等の開催。 強化学習ロボットの普及のための調査、広報など。
業務実施者	氏　名	所属・役職	業務内容
	杉本　晋太郎	課長	検査

委託先等名	インダストリーネットワーク株式会社		
業務管理者	社長　大橋俊夫		
経理責任者	経理課　大橋さゆり		
研究実施場所及び登録研究員	インダストリーネットワーク株式会社 長野県岡谷市南宮1-1-15		
	氏　名	所属・役職	主な担当事業内容
	大橋俊夫 宮本幸久 武井政博	代表取締役社長 システム管理部 技術開発部	業務管理 進捗スケジュール管理 外注、品質、在庫管理

(2-3)　外部からの指導及び強力

氏 名	所属・役職
木村　元	九州大学大学院工学研究院海洋システム工学部門 船舶海洋性能工学講座（システム計画学研究室）助教授
出口 弘	東京工業大学総合理工学研究科知能システム科学専攻教授
喜多 一	京都大学学術情報メディアセンター教授
山崎 保範	長野工業高等専門学校教授
市川純章	諏訪東京理科大学システム工学部機械システムデザイン工学科

２．研究発表・講演、文献、特許等の状況

（１） 研究発表・講演

・2004.10.15～16 諏訪地域「諏訪圏工業メッセ」

「研究用学習型ロボットの開発」

九州大学大学院工学研究院　木村　元

岡谷商工会議所　インダストリーネットワーク

・2004.12/10 第 34 回システム工学部会研究会

「大学と工業集積の協力による強化学習ロボットの試作」

喜多　一、木村　元、山崎保範、出口　弘

（２） 文献

無し

（３） 特許等

無し

（４） その他の公表（プレス発表等）

新聞掲載

・長野日報　2004.11.11 「新たな時代に即した活動に期待」

・長野日報　2005.06.10 「諏訪の技術　高い注目」（愛・地球博）

・信濃毎日新聞 2005.06.10 「ロボット２種披露　諏訪の企業開発」（愛・地球博）

・フジサンケイ 2005.06.16 「未来ロボット＠EXPO 行動判断ロボ「ｽﾀﾃﾞｨｱｽ」」

・読売新聞　2005.10.14 「諏訪の技術力 PR 工業メッセ開幕」

・信濃毎日新聞 2005.10.15 「諏訪圏工業メッセ出展増加　産学連携の広がりに期待」

・読売新聞　2005.10.30 「人口知能を持つロボットに人気　松本で工業まつり」

テレビ

・CATV エルシーブイ　2005.02.09 「産業スケルトン」強化学習ロボットプロジェクト

契約管理番号	０４００１５１１－０

添付資料

（1） スタディアス改良実験（モーター発熱対策）

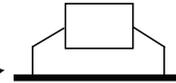
（2） 「ものづくりフェア」(2005.02.18-19)アンケート集計

（3） スタディアス取扱説明書（貸し出し向け）

ｽﾀﾃﾞｨｱｽ改良実験

実験日　:　2006/2/15

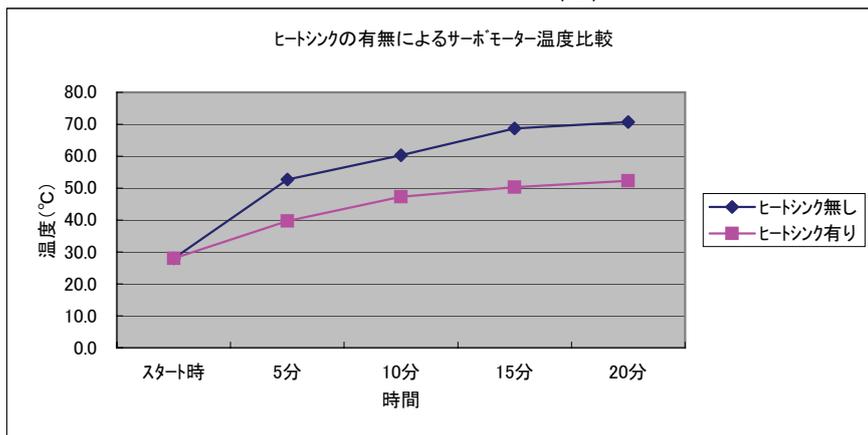
実験機　:　ｽﾀﾃﾞｨｱｽ　4足仕様　No6

目的　　:　ｽﾀﾃﾞｨｱｽを連続運転させるとﾓｰﾀｰが非常に発熱し　ﾊﾟﾜｰﾀﾞｳﾝを起こす。
更にはﾓｰﾀｰの焼きつきが発生する可能性が有る。
この対策として以下2点の対策の効果を確認する。
1. ﾋｰﾄｼﾝｸ有無によるｻｰﾎﾞﾓｰﾀｰ温度比較
2. ﾄﾙｸｷｬﾝｾﾗｰを取り付けた状態でのｻｰﾎﾞﾓｰﾀｰ温度比較
　ﾄﾙｸｷｬﾝｾﾗｰﾀｲﾌﾟ:ｻｰﾎﾞﾓｰﾀｰ直結ﾀｲﾌﾟ
　ﾊﾞﾈ　:T-112C
合わせてﾄﾙｸｷｬﾝｾﾗｰの有無による電流値の比較を確認する。

方法　:　ｽﾀﾃﾞｨｱｽの状態:腹が着地していないアイドリング状態をキープする。
温度測定方法　:赤外線放射温度計でｻｰﾎﾞﾓｰﾀｰのﾓｰﾀ直近の側面温度を測定する。
電流測定方法　:ﾓｰﾀｰ系の電源ラインに電流系を介して測定。

結果1　　1. ﾋｰﾄｼﾝｸ有無によるｻｰﾎﾞﾓｰﾀｰ温度比較

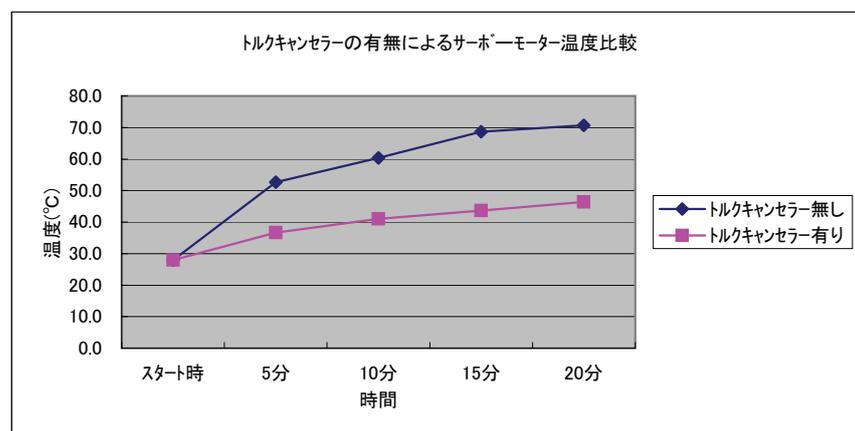
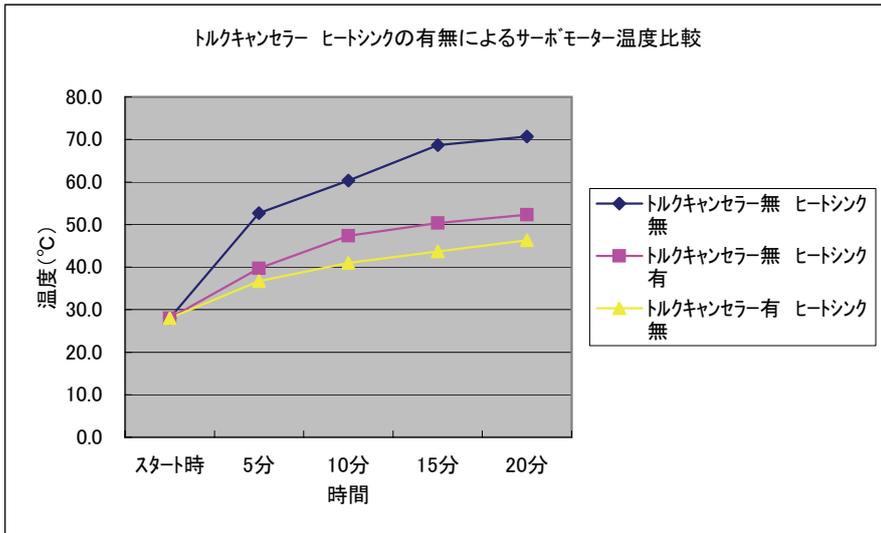
	ﾋｰﾄｼﾝｸ無し				ﾋｰﾄｼﾝｸ有り			
	1	2	3	平均	1	2	3	平均
ｽﾀｰﾄ時	28	28	28	28.0	28	28	28	28.0
5分	51	54	53	52.7	40	39	40	39.7
10分	56	63	62	60.3	47	47	48	47.3
15分	71	67	68	68.7	49	51	51	50.3
20分	73	69	70	70.7	52	53	52	52.3

(℃)

ﾋｰﾄｼﾝｸの有無によるｻｰﾎﾞﾓｰﾀｰ温度比較

結果2　　2. ﾄﾙｸｷｬﾝｾﾗｰを取り付けた状態でのｻｰﾎﾞﾓｰﾀｰ温度比較(ﾋｰﾄｼﾝｸ無し)

	ﾄﾙｸｷｬﾝｾﾗｰ無し				ﾄﾙｸｷｬﾝｾﾗｰ有り			
	1	2	3	平均	1	2	3	平均
ｽﾀｰﾄ時	28	28	28	28.0	28	28	28	28.0
5分	51	54	53	52.7	36	37	37	36.7
10分	56	63	62	60.3	40	42	41	41.0
15分	71	67	68	68.7	42	45	44	43.7
20分	73	69	70	70.7	43	48	48	46.3

(℃)

ﾄﾙｸｷｬﾝｾﾗｰの有無によるｻｰﾎﾞｰﾓｰﾀｰ温度比較

結果1と2から

結果３　　３．トルクキャンセラーの有無による電流値比較

	トルクキャンセラー無	トルクキャンセラー有
電流値（A）	1.7	0.8

2005.3

ものづくりフェアでの強化学習ロボットに関する調査報告 1/2

(有)クローバーデザイン
企画推進部

目 的 愛知万博出展に向けての事前調査として、″スタディアス″の展示＆説明＆アンケートを行った。
好きなロボットは？などのわくわく調査から、強化学習ロボットに対する可能性、実用性の調査、
産学連携に期待することなどの意識調査を行った。

日 時 2/18（金）、19（土）　天気：曇＆雪
テクノプラザ3階にて
10：00〜17：00

人 数 アンケート回答者：計44名

〜10代：1人　10代：12人　20代：5人　30代　：5人
40代：3人　50代： 7人　60代：4人　60代〜：1人　未回答：6人

結 果 別紙のアンケート集計を参照。

考 察 ●ロボットに対する意識調査について

・アニメやTVキャラものを″ロボット″としてイメージする方が、世代を問わず多かった。
逆に、現在の技術の集結である″産業ロボット系″は、あまり″ロボット″として認識されていないようだ。

・身の回りにあるロボットの例として、会社の設備を揚げる方が意外に多かった。諏訪圏域の土地柄か？

・今後のロボットの使われ方としては、人助け的な内容（災害救助、介護、医療）が多かった。

●強化学習ロボットについては、次ページ→

●産学の連携活動について

・当日展示してある３つの事例を説明をすると、興味を示す方がほとんどだった。
垣根を跳び越えた連携によって生まれる事例に
関心があり、みなさん温かい目をもっていてくださる。
中には「がんばってね」と声をかけて下さる方もいらっしゃいました。感謝。

考 察 ●強化学習ロボット″スタディアス″について

・いわゆる″人工知能″に興味を持っている方が世代を問わず多かった。

・「動いているのを見たい！」という声が圧倒的に多かった。
→ライブ感を楽しみたい！

・カニ君のおちゃめな目がかわいいと評判だった。>大橋さんに感謝。
→外観のデザインも大事。

・「報酬」をイメージした、ほんものの「おにぎり」が若い子にうけ、楽しんで頂けた。
→視覚によるわかりやすさの重要性。

・パソコン上で、いくつか他の強化学習ロボットの動画を流していたら、興味深く見て頂けた。
また、スタディアスが「じたばた」〜「動き出す」瞬間では歓声があがった。
→説明を短時間でループ再生できる映像が欲しい。

・メカに詳しそうなおじさま方からは、
「アルゴリズムはどうなっているの？」
「諏訪の企業が具体的に関わっている事を知りたい。ソフト面も関わっているのか？」
など、つっこんだ質問があり、しどろもどろになってしまいました..
→技術者向けのメカ説明書があるとよいかも。
（秘密事項もあるかとおもいますが、告知できる範囲で）

・仕組みや動作のわかりやすい説明パネルがあったおかげで、来場者に理解して頂きやすかった。
→説明を動画で見せる効果も必要かも。

まとめ

全体的に、やわらかい説明パネルのおかげで、メカに詳しくない一般の方々にも、
「強化学習ロボットとはなんぞや？」を理解していただけたと思います。

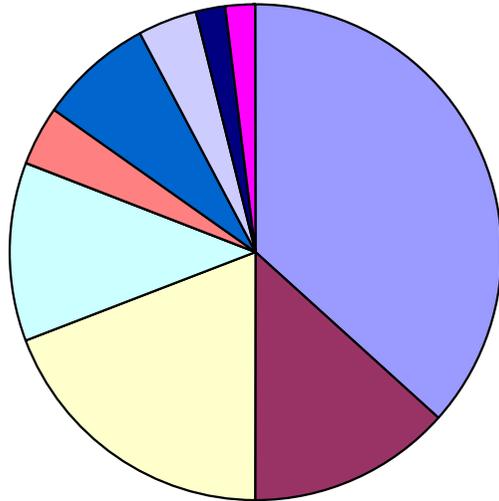
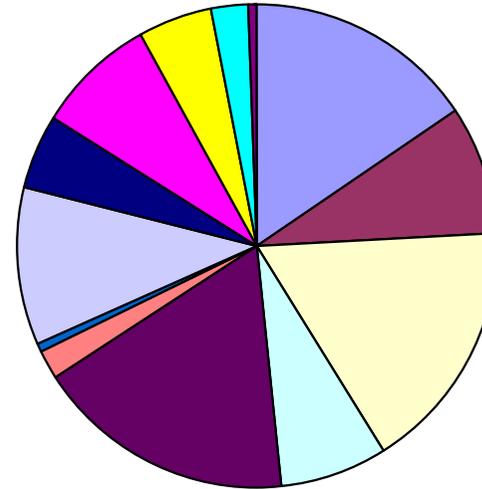
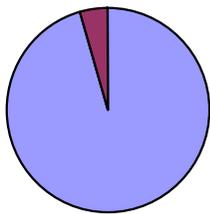
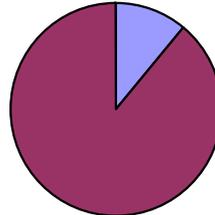
実際に動く″スタディアス″の展示の際は、対象者向け（学生さん、一般の方、メカにうるさい方..など）
の説明チラシがあるとよいとおもいます。

この強化学習ロボットを通して、諏訪地域の技術力の高さや、産学連携プロジェクトの実態、
なによりも、ものづくりの楽しさを、様々な方に伝えられたらなと強く思いました。

次回は、さらに多くの方に、より詳しく、楽しく理解していただける場や環境作りを
していきたいと思います。

2005.2.18～19。ロボットアンケート集計

●あなたのイメージするロボットは？	
鉄腕アトム	19
鉄人28号	7
ガンダム	10
FUNACのロボット	6
ムッシュ（EPSONの超小型ロボ）	0
AIBO	2
ドラえもん	4
ASIMO	2
車など作っているもの	1
ちょびッツ	1
●ロボットに興味をお持ちですか？	
はい	44
いいえ	2
●あなたは、ロボットをお持ちですか？	
はい	5
ラインtトレース／ファービー／プリモプェル／AIBO／ムッシュ／各1	
いいえ	40
●あなたの身の回りにロボットはありますか？	
はい	18
いいえ	24
→はいと答えた方、下記の中のどれ？	
おもちゃ	10
家電製品	2
会社の設備	7
その他	2↓
制作、液晶基盤搬送のロボット、各1	
●今後、ロボットが活躍すると思われる場面は？	
医療	25
福祉	14
介護	27
労働補助	12
災害救助	28
教育	3
子育て	1
監視・防衛・セキュリティーなど	17
環境保護	8
惑星や海底など未知世界での観測	13
癒し	8
趣味	4
その他（義手・義足）	1

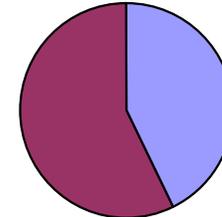
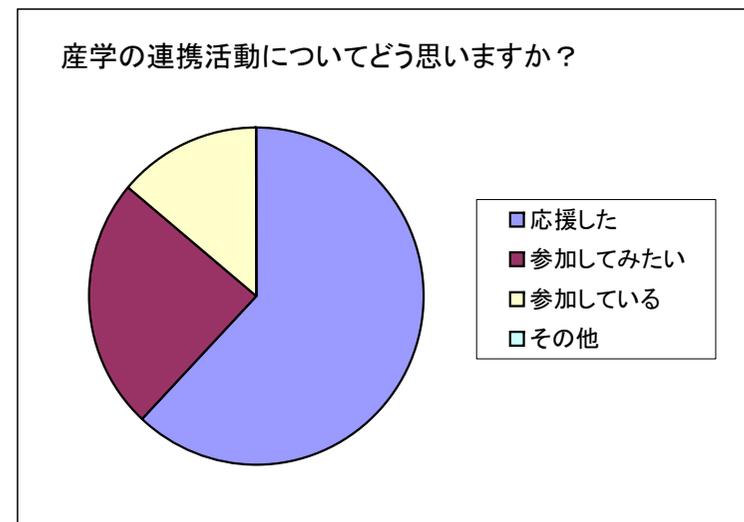
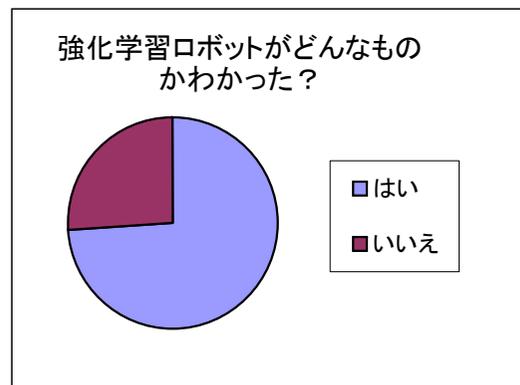
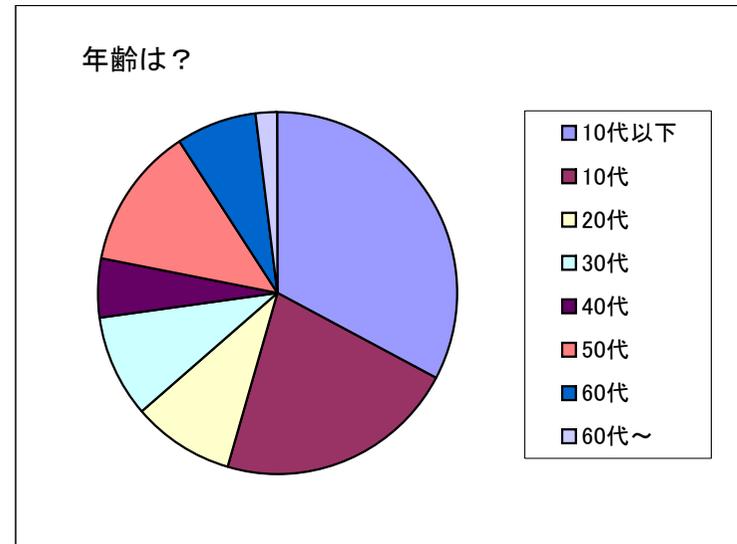
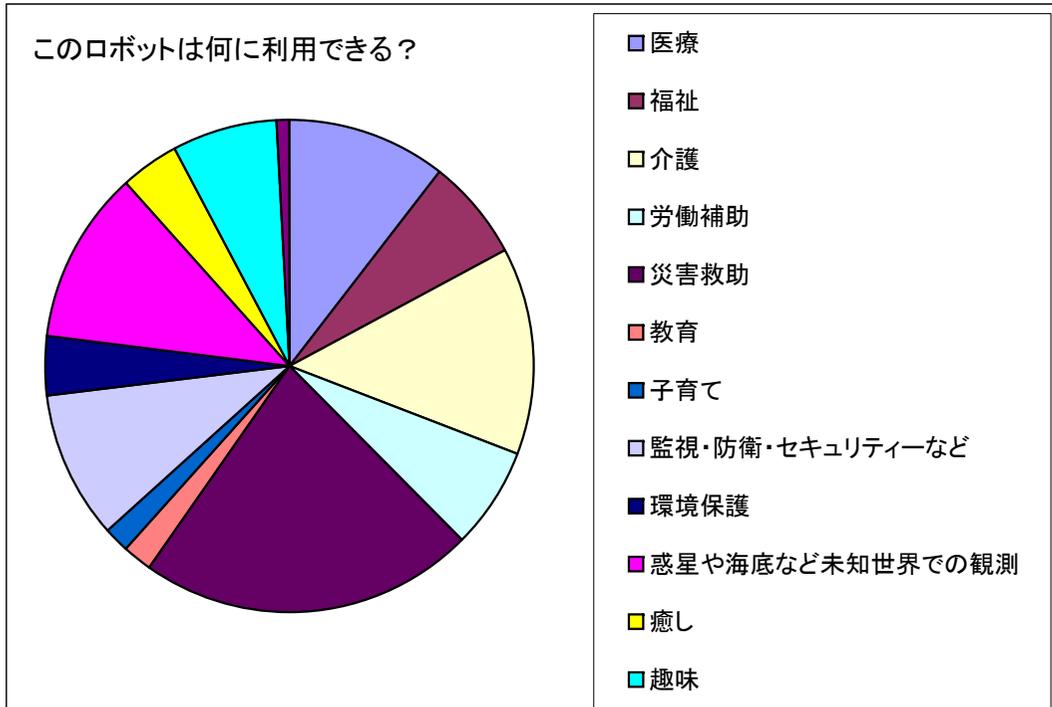
●強化学習ロボットがどんなものかわかった？	
はい	31
いいえ	11
●このロボットは何に利用できる？	
医療	11
福祉	7
介護	14
労働補助	7
災害救助	23
教育	2
子育て	2
監視・防衛・セキュリティーなど	10
環境保護	4
惑星や海底など未知世界での観測	12
癒し	4
趣味	7
その他（ないのでは、すべて）	1
●産学の連携活動についてどう思いますか？	
応援した	18
参加してみたい	7
参加している	4
その他	0
●年齢は？	
10代以下	18
10代	12
20代	5
30代	5
40代	3
50代	7
60代	4
60代～	1

あなたのイメージするロボットは？
鉄腕アトム
鉄人28号
ガンダム
FUNACのロボット
ムッシュ（EPSONの超小型ロボ）
AIBO
ドラえもん
ASIMO
車など作っているもの
ちょびッツ

今後、ロボットが活躍すると思われる場面は？
医療
福祉
介護
労働補助
災害救助
教育
子育て
監視・防衛・セキュリティーなど
環境保護
惑星や海底など未知世界での観測
癒し
趣味
その他（義手・義足）

ロボットに興味をお持ちですか？
はい
いいえ

あなたは、ロボットをお持ちですか？
はい
いいえ

あなたの身の回りにロボットはありますか？
はい
いいえ

このロボットは何に利用できる？
医療
福祉
介護
労働補助
災害救助
教育
子育て
監視・防衛・セキュリティーなど
環境保護
惑星や海底など未知世界での観測
癒し
趣味

年齢は？
10代以下
10代
20代
30代
40代
50代
60代
60代～

強化学習ロボットがどんなもの
かわかった？
はい
いいえ

産学の連携活動についてどう思いますか？
応援した
参加してみたい
参加している
その他

スタディアス取扱説明書

Ver.1

目次

１．スタディアスパッキングリスト・・・・・・・・・・・・・・・・・・ ３
２．設置と準備・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ ４
３．スタディアスについて＜基本的な機能＞・・・・・・・・・・・・・ ８
４．スタディアスを使用する・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ １１
５．保守、使用、安全性についての情報・・・・・・・・・・・・・・・ １５
６．コンピュータのセットアップ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ １８

１．スタディアスパッキングリスト

スタディアスキットには以下のものが含まれます：

1	スタディアス本体
1	スタディアス顔
1	手持ち棒
1	電源装置（AC 電源コード付属）
1	電源ケーブル
1	Ethernet ケーブル（クロスケーブル）
1	EPSON NT-2700 ノートパソコン
1	ノートパソコン用電源アダプタ（電源コード付属）
1	CD-ROM
1	スタディアス取扱説明書

欠品またはご不明な点がありましたらおたずねください。

２．設置と準備

スタディアスは、簡単に設置してすぐに使い始めることができるようになっています。
スタディアスをはじめてお使いになる方は、まずこの取扱説明書をお読みください。
今までにスタディアスを使ったことがある方は、スタディアスをすぐに使い始めるだけの知識をすでにお持ちかもしれません。
「スタディアスについて」を一読して、スタディアスの機能についての情報を確認してください。

ノートパソコン用電源アダプタ
電源コード（ノートパソコン用）
スタディアス本体　　EPSON NT-2700 ノートパソコン

電源装置　電源コード（電源装置用）　電源ケーブル Ethernet ケーブル

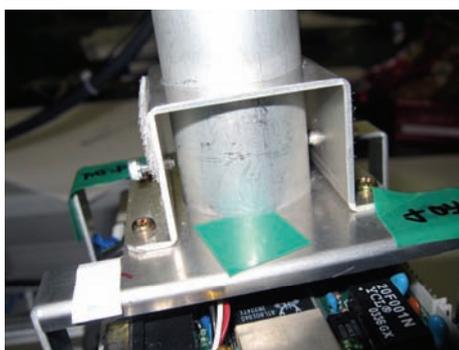
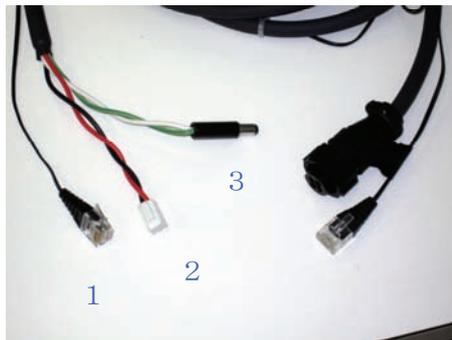
スタディアスを設定する

スタディアスを設定するには、以下の手順に従います。

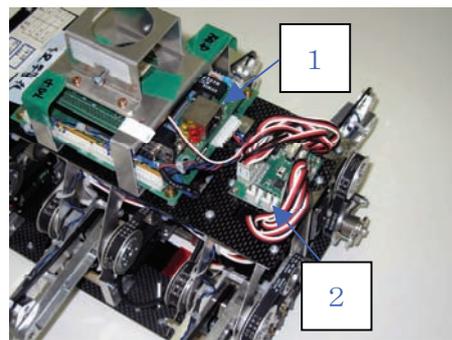
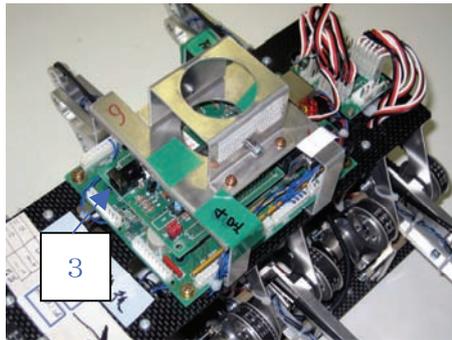
1. 電源コード（電源装置用）を電源装置にしっかりと接続します。電源装置の電源スイッチを OFF にセットして、電源コード（電源装置用）を接地電源コンセントに接続します。
2. 電源装置に電源ケーブルの丸側を接続します。接続時は、コネクタの形状が一致するところにあわせ、押し込みながら回します。

スイッチは上側が押されていると ON

3. 電源ケーブル２コネクタ側をスタディアス本体に接続します。丸コネクタは中心上部基板のコネクタに、３ピンコネクタは進行方向左側の小さな基板の３ピンコネクタ差込口にしっかりと接続してください。Ethernet ケーブル（クロスケーブル）を EPSON NT-2700 ノートパソコンの Ethernet コネクタに接続します。もう一方をスタディアス本体、中央上部基板の Ethernet コネクタに接続します。

手持ち棒に電源ケーブルを通してから
スタディアス本体に接続（穴が二箇所
開いている方が本体方向）

手持ち棒の固定方法
手持ち棒をスタディアス本体の上部の丸穴に差し込みます。
手持ち棒には二箇所の穴が開いていますので、本体側のネジに合わせ、本体ネジを回し固定します。

１．Ethernet コネクタ

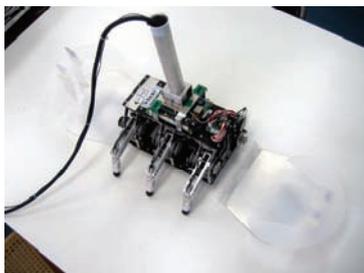
２．３ピンコネクタ

３．丸コネクタ

４．電源コード（ノートパソコン用）をノートパソコン用電源アダプタにしっかりと接続します。ノートパソコン用電源アダプタのコードを EPSON NT-2700 ノートパソコンに接続します。電源アダプタを接地電源コンセントに接続します。

５．電源装置の電源スイッチを ON にセットして、スタディアス本体の電源を入れます。この際、スタディアス本体の各脚が動作をします。

６．EPSON NT-2700 ノートパソコンの電源スイッチを押して、EPSON NT-2700 ノートパソコンの電源を入れます。

スタディアスの顔の取り付け方

→

スタディアス本体下部にマジックテープが付いていますので、モータに触れないように取り付けてください。手持ち棒押さえ部分にもマジックテープが付いていますので、裏面上部の飛び出し部分を取り付けます。

次のステップ

以上でスタディアスを使用するための準備は完了です。

スタディアスの使用を終了するときの操作

スタディアスを終了するには、以下の手順に従います。

1. EPSON NT-2700 ノートパソコン上で使用している、アプリケーションを全て終了します。
2. 電源装置の電源スイッチを OFF にセットして、スタディアス本体の電源を切ります。
3. EPSON NT-2700 ノートパソコンを終了させます。
   スタート＞「終了オプション」＞「電源を切る」と選択します。

> 警告：スタディアス・ノートパソコンを持ち運ぶ前に、スタディアスとノートパソコンを終了してください。ハードディスクが回転している時に持ち運ぶと、ハードディスクが故障して、データが失われたり、ハードディスクから起動できなくなる恐れがあります。

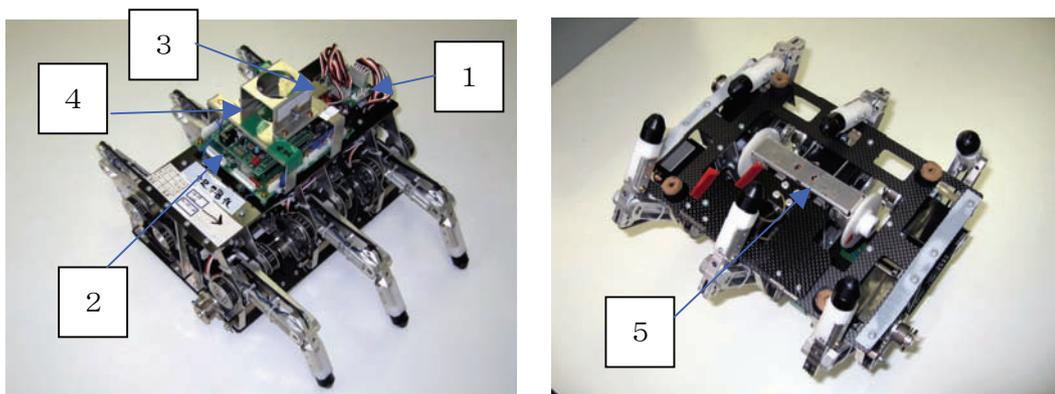
３．スタディアスについて＜基本的な機能＞

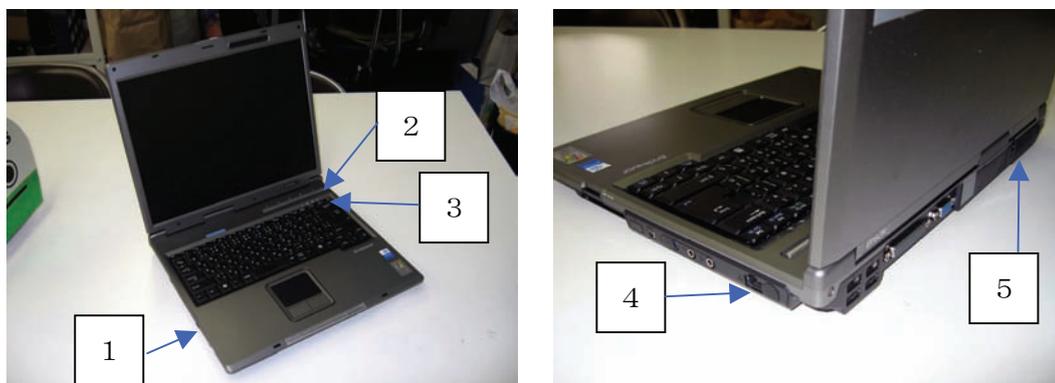
お使いのスタディアスに関する基本的な情報について説明します。

お使いのスタディアスとノートパソコンのさまざまな部分の概要と、アプリケーション（制御ソフト）に関する概要について説明します。

最新情報の入手

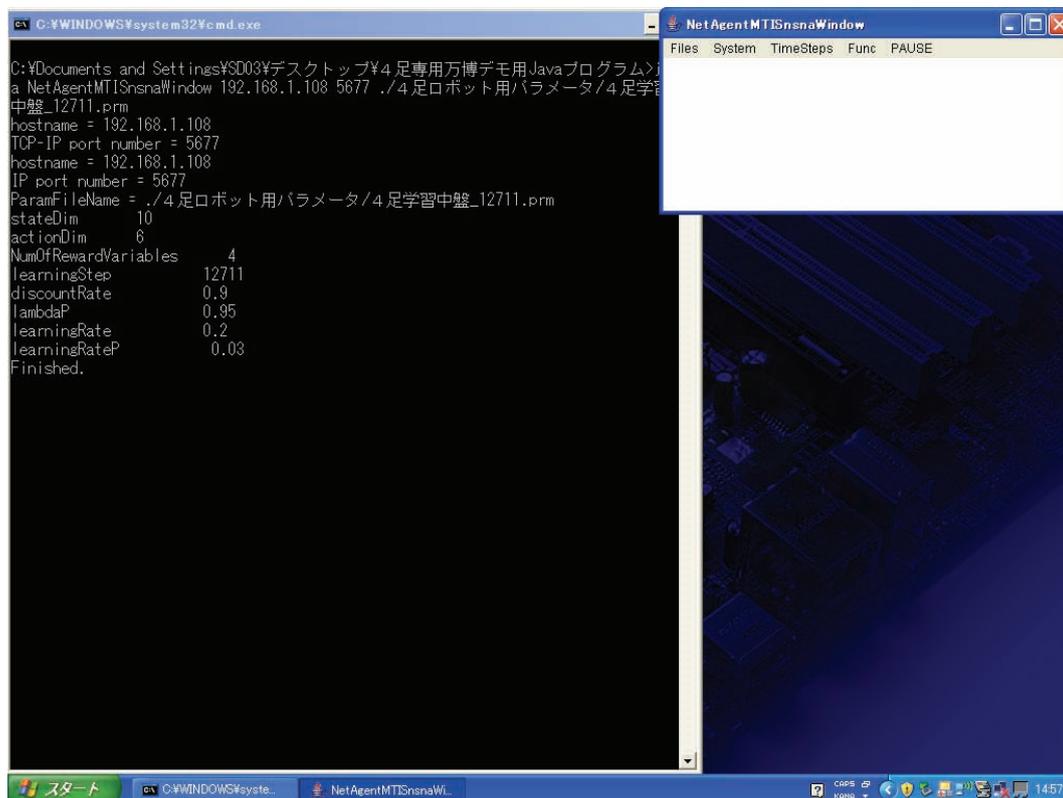
スタディアスの Web サイト（http://studious.jp/）から、スタディアスの最新情報、ソフトウェアが入手できます。
また、サポートには、最新の Q&A 情報が掲載されています。

スタディアスの基本的な機能

1	**モータ用電源３ピンコネクタ（モータ制御ボード）** モータを制御するためのボード。３ピンコネクタには電源ケーブルを接続。入力 6V。
2	**通信基盤用電源コネクタ（通信ボード）** 通信をするためのボード。Ethernet ポートと電源ケーブルを接続。電源入力 5V。
3	**Ethernet ポート** 10Base-T Ethernet ネットワークに接続することができます。
4	**手持ち棒固定金具** 手持ち棒を固定することができます。ネジが２個でています。
5	**報酬センサー** 進行・後退を読み取るためのセンサー部分になります。

EPSON NT-2700 ノートパソコンの基本的な機能

1	**光学式ドライブ** DVD ディスク、DVD ムービー、CD-ROM ディスク、音楽 CD、一般的なオーディオディスク、およびその他の種類のメディアを読み込むことができるコンボドライブが搭載されています。また、このコンボドライブは、音楽、書類、およびその他のデジタルファイルを空の CD-R および CD-RW ディスクに書き込むこともできます。
2	**電源ボタン** コンピュータの電源を入れたり、電源を切ったりすることができます。押し続けると、問題が起きたときにリセットすることができます。
3	**インジケータランプ** ランプが点灯しているときはコンピュータの電源が入っています。
4	**Ethernet ポート** 10/100Base-T Ethernet ネットワークに接続することができます。
5	**電源コネクタ** 電源アダプタの電源コードを接続することができます。
6	**無線 LAN** 11g/11b 規格に対応しております。Ethernet ポートをスタディアス用に割り当て無線 LAN をインターネット接続に利用することができます。

コンピュータの性能

・インテル® Pentium® III または 4 クラスプロセッサを搭載したコンピュータ
・Microsoft® Windows® 2000 、または Windows XP 日本語版
・512MB 以上の RAM（長時間動作させる場合は 1GB 以上推奨）
・1GB 以上の空き容量のあるハードディスクが必要

スタディアスコントローラーについて（制御ソフト：強化学習アルゴリズム）

強化学習アルゴリズムの頭脳部分になります。

アルゴリズムは Java 言語にて開発されております。

取扱については次の章をご参照ください。

ＪＲＥについて

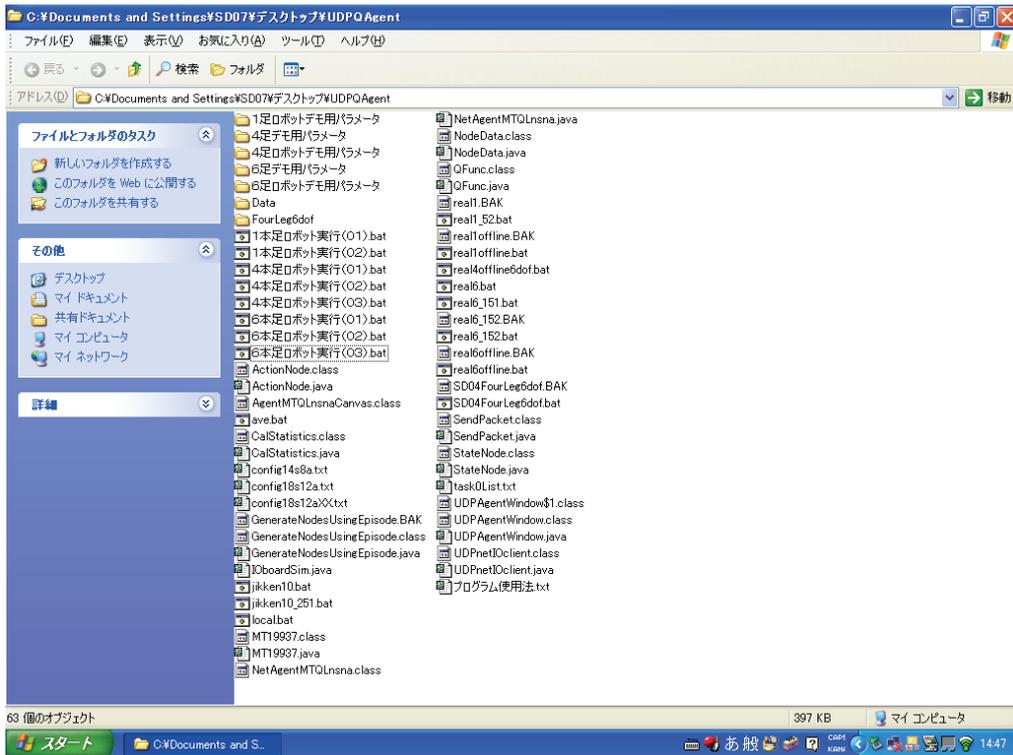
スタディアス用強化学習アルゴリズムは、Java 言語で開発されています。

そのため、J2SE Java Runtime Environment (JRE)が必要になります。

JRE は、開発されたソフトウェアを実行するために必要なソフトウェアのセットです。Java を用いて開発されたソフトウェアは、どんなプラットフォームからも独立した形式(Java バイトコード)で配布されます。これを実行するにはそのプラットフォームが解釈できる形式(ネイティブコード)に変換する必要があります。JRE は、この変換と実行を行なう Java 仮想マシンとその周辺のソフトウェアになります。

４．スタディアスを使用する

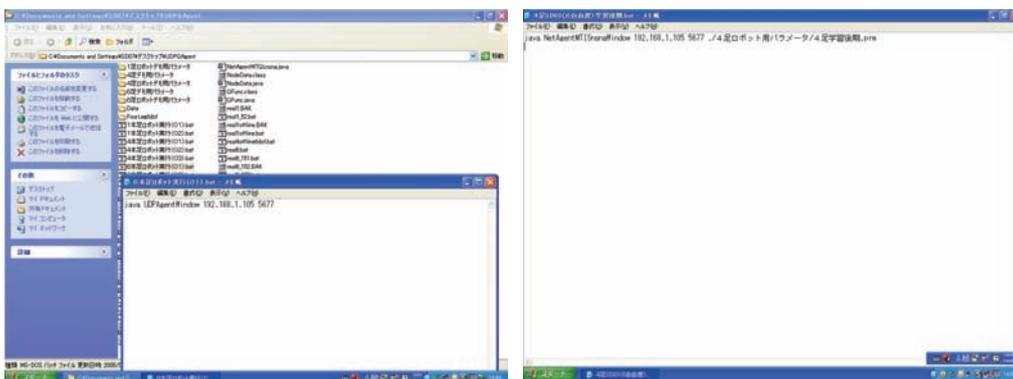
お使いのスタディアスコントローラーには、必要に応じてスタディアスをカスタマイズできる機能が搭載されています。

収録内容

起動プログラムの編集

スタディアスコントローラープログラムをお使いのスタディアス用にカスタマイズします。スタディアスには、名前・IP アドレスが登録されていますので、起動プログラムをお使いのスタディアス情報に変更いたします。変更ファイルは以下の通り。

〝１本足ロボット実行（０１）.bat〞
〝１本足ロボット実行（０２）.bat〞
〝４本足ロボット実行（０１）.bat〞
〝４本足ロボット実行（０２）.bat〞
〝４本足ロボット実行（０３）.bat〞
〝６本足ロボット実行（０１）.bat〞
〝６本足ロボット実行（０２）.bat〞
〝６本足ロボット実行（０３）.bat〞

ファイル名で右クリックをして、「編集」を選択します。

メモ帳が起動しますので、
「java UDPAgentWindow 192.168.1.100 5677」の IP アドレス部分（下線箇所）をスタディアスＩＰアドレス表の IP アドレスに変更してください。スタディアス本体にスタディアス名が書いてあります。
また、プログラム起動時に学習データを一緒に読み込み起動することができます。
設定は以下の下線部分のように記入ください。
「java UDPAgentWindow 192.168.1.100 5677 ./4 足ロボット用パラメータ/後期.prm」

スタディアスＩＰアドレス表

名前	ＩＰアドレス
SD01	192.168.1.101
SD02	192.168.1.102
SD03	192.168.1.103
SD04	192.168.1.104
SD05	192.168.1.105
SD06	192.168.1.106
SD07	192.168.1.107
SD08	192.168.1.108

プログラムの使い方

⑴ ロボットの電源投入

ロボットがネットワークに接続されていることを確認

⑵ コントロール用Ｊａｖａプログラムの起動

対象とするロボットに対応するバッチファイルをダブルクリックして実行

〞１本足ロボット実行（０１）.bat〞

〞１本足ロボット実行（０２）.bat〞

〞４本足ロボット実行（０１）.bat〞

〞４本足ロボット実行（０２）.bat〞

〞４本足ロボット実行（０３）.bat〞

〞６本足ロボット実行（０１）.bat〞

〞６本足ロボット実行（０２）.bat〞

〞６本足ロボット実行（０３）.bat〞

⑶ 学習初期／学習中盤／学習後パラメータファイルの読み込み

プログラムの Window メニュー[Files] から [LoadParamFile] を選択し、

各ロボットに異なる以下のフォルダ

〞１足ロボットデモ用パラメータ〞

〞４足ロボットデモ用パラメータ〞

〞６足ロボットデモ用パラメータ〞

これらのフォルダにある

〞学習初期.prm〞

〞学習途中.prm〞

などのそれっぽい名前で拡張子が 〞.prm〞 となっているファイルを読み込む。

⑶ 学習させるステップ数の指定

メニュー[TimeSteps]から、学習させるのに適切な期間の時間ステップを選択する。

短時間のデモなら [200 steps] くらい、少し長くするなら [1000 steps] くらいを選択する。

⑷ 動作の開始

以上の準備が整ったら、Window メニュー[System] から [Start] を選択すると、

ロボットが動き出し、指定されたステップ数だけ動いて停止する。

動いている途中で一時停止するには？

Window メニュー[PAUSE] から [Pause] を選択すると、

Push [OK] Button to Resume.

という表示と [OK] ボタンの付いたダイアログが出て、ロボットは一時停止する。

[OK] ボタンを押すと動作を再開。

メニュー機能

Files

LoadParamFile ・・・・・ 学習データをロード

SaveParamFile ・・・・・ 学習データを保存

System

Start ・・・・・・・・ プログラムを開始

Stop ・・・・・・・・ プログラムを停止

Quit ・・・・・・・・ プログラムを終了

TimeSteps・・・・・・・・ 時間ステップ（10～50000 ステップ）

10steps

・・

50000steps

PAUSE

Pause ・・・・・・・・ 一時停止

５．保守、使用、安全性についての情報

安全、装置の保全のため、スタディアス・コンピュータを清掃したり扱ったりするときは、ここで説明するルールに従ってください。

スタディアスを清掃する

スタディアスを清掃するときは、以下の注意事項を守ってください。

・ スタディアスに接続されているすべてのケーブル、顔を取り外します。
・ エアースプレーでほこりなどを払い落としてください。
・ アルコールなど気化するもので軽く拭き取ってください。（基板・モータは除く）けっして水を付けて清掃しないでください。

スタディアスを移動する

スタディアスを持ち上げたり移動したりする際は、下部センサーに軽く触れ補助しながら作業を行なってください。ケーブルにも注意を払ってください。

ノートパソコンを清掃する

コンピュータの外面を清掃するときは、以下の注意事項を守ってください。

・ コンピュータのシステムを終了し、すべてのケーブルを取り外します。
・ コンピュータの外面を清掃するときは、柔らかく、けば立たない布に少量の水を付けて使用してください。清掃の際には装置に水などが入り込まないように注意してください。コンピュータに液体を直接吹きかけないでください。
・ スプレー式の液体クリーナー、溶剤、研磨剤などは使わないでください。

ノートパソコンを移動する

コンピュータを持ち上げたり移動したりする前に、電源を切り、接続されているケーブルやコードをすべて取り外す必要があります。

スタディアス・コンピュータを安全に設置、使用するために

スタディアス・コンピュータをお使いになる方の安全と装置の故障防止のため、常に下記の点にご注意ください。

次のようなときは、電源コードを抜いてください（コードではなく、必ずプラグを持って抜いてください）。

・ 電源コードやプラグがすり切れているときや壊れているとき
・ スタディアス・コンピュータ本体に液体が流れ込んだとき
・ 雨や過度の湿気にさらされたとき

- 落としたときや、外面が壊れたとき
- 保守サービスや修理が必要だと思われるとき
- 外面を清掃したいとき（前述の方法以外では清掃しないでください）

重要：電源を完全に切る方法は、電源コード（二本）を取り外すことです。
必要なときに電源を切れるようにするため、接地電源コンセントへは並べて接続し、スタディアス用電源装置・コンピュータは、電源コードにすぐに手が届く場所に設置してください。

警告：電源装置付属の電源コードには、アース線が付いています。このアース線は、接地電源コンセントのみに適合します。コンセントが接地されていないためにそのコンセントに接続できない場合は、電気技師に依頼してコンセントを適切な接地コンセントと取り替えてください。アース線は、できるだけ接続するようにしてください。

常に以下の注意事項をお守りください。

- 飲み物、洗面台、浴槽、シャワーなど、水のある場所には近づけないでください。
- 雨や雪が入り込む場所や、湿度が極端に高い場所には近づけないでください。
- 電源コードをコンセントに差し込む前に、設置手順の解説をよくお読みください。
- お使いになる方が、いつでもこれらの注意事項を参照できるようにしておいてください。
- お使いのシステムに関する指示や警告には、必ず従ってください。

重要：電気製品は、取扱を誤ると大変危険です。本製品に限らず、お子様が電気製品をお使いになるときは、そばで大人の方が監視、指導してあげてください。また、電気製品の内部や脚部分、ケーブル、コード類にはお子様が手を触れないようにご注意ください。

警告：穴やすきまなどに、ものを差し込まないでください。そのようにすると危険です。

コネクタ接続

コネクタは無理にコネクタ受け口に差し込まないでください。コネクタが簡単に接続できない場合は、コネクタと受け口が合っていない可能性があります。コネクタと受け口が合っていることと、コネクタと受け口の向きや位置が正しいことを確認してください。

電源アダプタ

電源アダプタを使用するときは、以下のガイドラインに従います：

- AC 電源プラグと DC 電源プラグが電源アダプタ（電源装置）にしっかり差し込まれていることを確認します。

- 電源アダプタの周囲に常に空間を残しておき、電源アダプタの周囲の空気の流れが妨げられない場所で、使用してください。
- 電源を完全に切る方法は、コードではなく、必ずプラグを持って電源コードを取り外すことです。

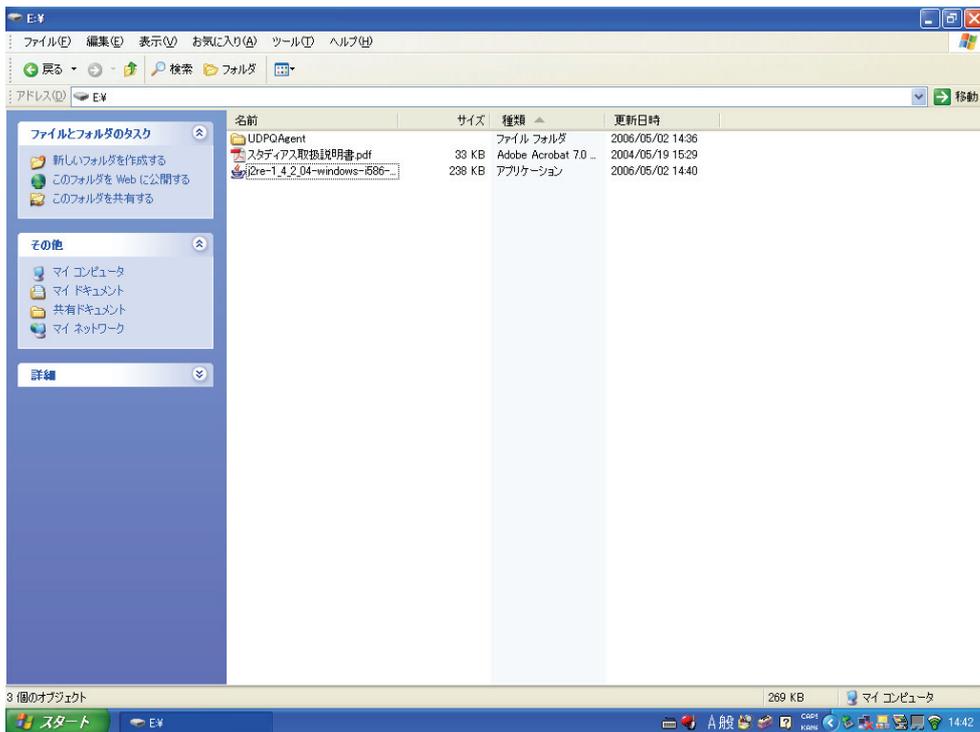
重要：お使いの電源アダプタには高い電圧がかかります。電源につないでいない場合でも、絶対にあけないでください。また、電気製品の内部や脚部分、ケーブル、コード類にお子様の手を触れないようにご注意ください。

警告：必ず付属の電源アダプタ、および電源アダプタに付属の電源コードを使用してください。ほかの電子装置のアダプタやコードは、似ているように見えることがありますが、それらのアダプタやコードを使用すると、パフォーマンスに影響を及ぼしたり、故障したりすることがあります。電源コードには、接地コンセントにのみ適合するアース線が付いている場合があります。 コンセントが接地されていないためにそのコンセントに接続できない場合は、電気技師に依頼してコンセントを適切な接地コンセントと取り替えてください。アース線は、できるだけ接続するようにしてください。

６．コンピュータのセットアップ

コンピュータに動作環境・開発環境を構築するための説明をします。

別のコンピュータに動作環境・開発環境を構築する場合は以下をお読みください。

CD-ROM 収録物

ＪＲＥのセットアップ

付属 CD-ROM 内のＪＲＥ1.4.2 または、インターネットを通じて最新版を入手してインストールを実施してください。

CD-ROM 内のＪＲＥ

j2re-1_4_2_04-windows-i586-p-iftw.exe よりインストールを行います。

最新版を入手する

１．http://java.com/ にアクセスします。

２．「今すぐ入手」ボタンの下の「手動ダウンロード」をクリックします。

３．「Windows(インストール)」の横の「ダウンロード」ボタンをクリックします。

　「ファイルのダウンロード」ダイアログボックス

４．「保存」をクリックします。「名前を付けて保存」ダイアログボックス

５．保存先のフォルダを選択します（デスクトップなどのように、コンピュータ

上のわかりやすい場所にファイルを保存してください)。

6．保存」をクリックします。「名前を付けて保存」ダイアログボックス「ファイル jre-1_5_0_xx-windows-i586-p.exe は既に存在します。置き換えますか?」というメッセージが表示されます。

7．「はい」をクリックします。

8．次のことを確認します。

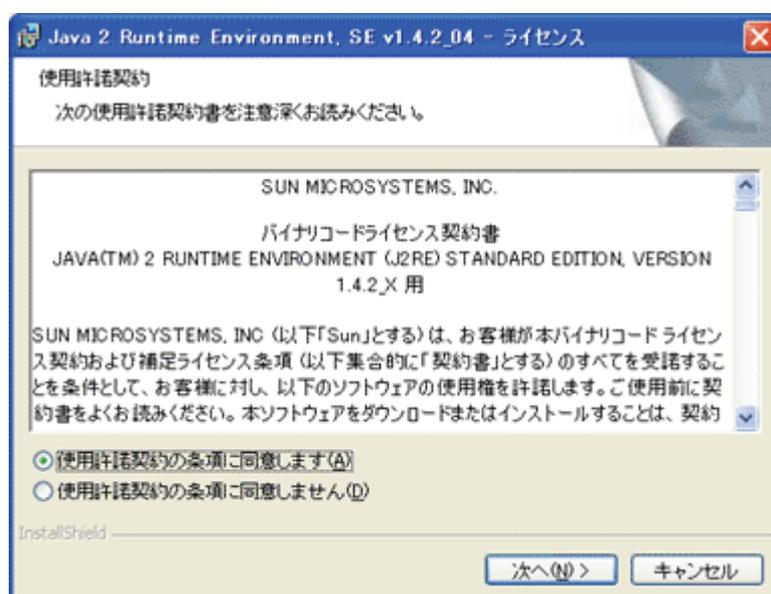
・ファイルの名前が jre-1_5_0_xx-windows-i586-p.exe である。

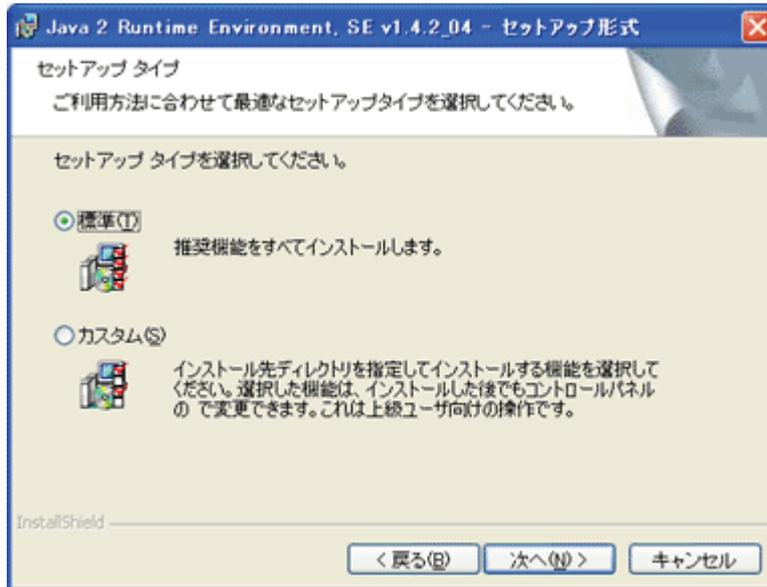
・サイズは、約 1.5M バイトである

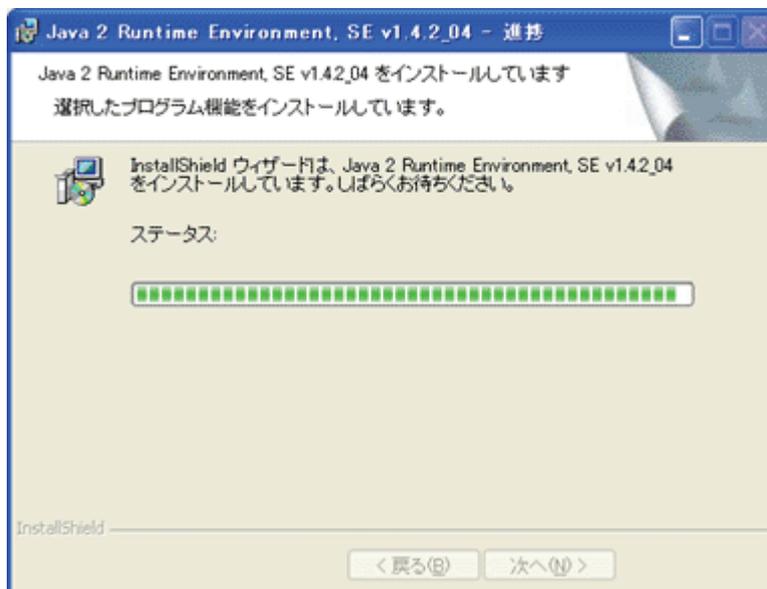
9．ブラウザなど、すべてのアプリケーションを閉じます。保存したファイルのアイコンをダブルクリックして、インストールを開始します。

注意:インストール中は、コンピュータをインターネットに接続したままにしてください。

インストール

インストーラによって、インストールに必要なファイルが解凍されます。ダイアログボックスには、解凍の進行状況が表示されます。通常は 1 分以内で完了します。スプラッシュ画面が表示された後、使用許諾契約書の画面が表示されます。

使用許諾契約書を読んだら、「使用許諾契約の条項に同意します」ボタンをクリックして、次に進みます。

「セットアップタイプ」画面が表示されたら、標準セットアップまたはカスタムセットアップのどちらかを選択します。JRE の特定のコンポーネントだけをインストールする場合を除き、デフォルトの「標準」オプションを選択することをお勧めします。

［標準］セットアップを選択していることを確認し、［次へ］ボタンをクリックします。

これで、インストールに必要な情報をすべて指定しました。ダイアログボックスには、インストールの進行状況が表示されます。

インストールの最後のプロセスを確認する小さなダイアログボックスがいくつか表示された後、［インストール完了］という確認メッセージが表示されます。

インストールのテスト

JRE がコンピュータにインストールされ、有効化され、適切に機能することをテストするには、Java.com サイトからテストアプレットを実行します。

JREインストールのテスト Duke ロゴのアニメーションが表示される場合は、JRE が正常にインストールされ、設定されています。

［アドレス］http://java.com/ja/download/help/testvm.xml

強化学習アルゴリズムの展開

CD-ROM 内の「UDPQAgent」をデスクトップなど、コンピュータ上のわかりやすい場所にコピーをしてください。

ＩＰアドレスの設定

1．［スタート］をクリックして［コントロール パネル］をクリックし、［ネットワークとインターネット接続］をクリックしてから、［ネットワーク接続］をクリックします。
2．構成するネットワーク接続を右クリックしてから、［プロパティ］をクリックします。
3．ローカル エリア接続では［全般］タブ、他の接続では［ネットワーク］タブ上で、［インターネット プロトコル（TCP/IP）］をクリックしてから、［プロパティ］をクリックします。
4．「次の IP アドレスを使う」をクリックして、IP アドレスとサブネットマスクを入力します。IP アドレスは、「192.168.1.120～192.168.1.254」の範囲で入力してください。サブネットマスクは「255.255.255.0」を入力。